

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra 451**

**Studie proveditelnosti instalace solárních  
kolektorů na střechu skládky**

**Feasibility studies of installation of solar  
collector to roof of dumping**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Burda**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: Studie proveditelnosti instalace solárních kolektorů na střechu skládky  
Feasibility Studies of Installation of Solar Collector to Roof of Dumping

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor problematiky solárních systémů
2. Popis stávajícího stavu v uvažované lokalitě
3. Návrh technického řešení (návrh vhodného typu panelů, návrh způsobu vyvedení výkonu, variantní návrh zapojení - typ, množství, požadavky na ovládání, provozování, údržbu a čištění)
4. Výpočet návratnosti zvolené varianty

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Murtinger P., Bernatovský J., Tomeš T.: Fotovoltaika, elektřina ze slunce, ERA, Brno, 2007
2. Henze A., Hillebrand W.: Elektrický proud ze slunce, HEL, Ostrava, 2000
3. Další literatura podle pokynů vedoucího bakalářské práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání:

Datum odevzdání:

---

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
*vedoucí katedry*

---

prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.  
*děkan fakulty*

## Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.  
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal“

V Olomouci dne 27.4.2010

.....

### Prohlášení zástupce spolupracující právnické osoby

„Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TU Ostrava.“

V Olomouci dne 27.4.2010

.....

## Poděkování

Rád bych tímto poděkoval všem pracovníkům společnosti Dalkia Česká republika, a.s. za jejich cenné rady a připomínky při tvorbě této bakalářské práce. Zvláště bych pak rád poděkoval Ing. Martinovi Vlášilovi garantovi mé práce ve společnosti Dalkia Česká republika, a.s. a Ing. Petrovi Botlíkovi, MSc. vedoucímu závodu Teplárny Olomouc. Rovněž bych rád poděkoval Ing. Petru Krejčímu, Ph.D. proděkanovi pro magisterské studium VŠB – TU Ostrava. Dále bych rád poděkoval Ing. Petrovi Tylovi ze společnosti Elektrocentrum trading s.r.o. a Jaroslavovi Boudovi ze společnosti GBC montáže s.r.o., kteří mi poskytli mnoho cenných rad a informací nezbytných pro návrh a ocenění fotovoltaické elektrárny. Bez výše jmenovaných bych tuto bakalářskou práci nenapsal v takovémto rozsahu a kvalitě, za což jim velice děkuji.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá problematikou využití slunečního záření pro výrobu elektrické energie v podmínkách velké nadnárodní energetické společnosti a to jak v teoretické, tak i praktické rovině.

Teoretická část se zabývá fotovoltaickým jevem, historií FVE a teoretickými poznatky nezbytnými pro stanovení koncepce FVE.

V praktické části se práce zabývá návrhem a ekonomickým posouzením FVE.

## **Klíčová slova**

Fotovoltaická elektrárna, fotovoltaický panel, polovodičový fotovoltaický článek, typy fotovoltaických elektráren, střídač, měnič, ochrana před bleskem, finanční nástroje podpory fotovoltaických elektráren v České republice, technické řešení návrhu fotovoltaické elektrárny, výpočet návratnosti.

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with the use of solar power generation in terms of large multinational energy companies in both theoretical and practical level.

The theoretical part deals with photovoltaic phenomenon, the history of the PV and theoretical knowledge necessary to establish the concept of the PV system.

The practical part of the work deals with design and economic assessment of the PV system.

## **Keywords**

Photovoltaic power, photovoltaic panel, a semiconductor photovoltaic cell, photovoltaic power inverter, inverter, protection against lightning, financial instruments that support photovoltaic power plants in the Czech Republic, technical solution design solar power, computation of returns.

# **Obsah**

Seznam symbolů a zkratk.....	1
Seznam tabulek .....	2
Seznam obrázků .....	3
ÚVOD.....	4
1. HISTORIE A TEORIE SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ .....	5
1.1 Slunce jako zdroj energie .....	5
1.1.1 Sluneční záření na Zemi .....	5
1.2 Historie FVE.....	6
1.3 Fyzikální princip polovodičového fotovoltaického článku .....	7
1.4 Časové milníky vývoje fotovoltaických článků.....	10
1.4.1 První generace .....	10
1.4.2 Druhá generace .....	10
1.4.3 Třetí generace .....	11
1.5 Fotovoltaický článek.....	11
1.5.1 Monokrystalické panely .....	11
1.5.2 Polykrystalické panely .....	11
1.5.3 Tenkovrstvé a Si panely .....	12
1.6 Funkce křemíkový fotovoltaických článků .....	12
1.7 Elektrické vlastnosti fotovoltaických článků.....	14
1.8 Fotovoltaická elektrárna.....	15
1.9 Ztráty FVE .....	16
1.10 Potenciál slunečního svitu v ČR .....	16
1.11 Možné koncepce FVE .....	17
1.11.1 Střešní systémy .....	17
1.11.2 Systémy umístěné na nezastavěný pozemek.....	17
1.12 Pomocná zařízení a komponenty fotovoltaických systémů.....	17

1.12.1 Střídače, měniče napětí.....	17
1.12.2 Ochrany, které může obsahovat měnič napětí .....	18
1.12.3 Nosná konstrukce .....	19
1.12.4 Fotovoltaické elektrárny a jejich ochrana před bleskem .....	19
1.13 Finanční nástroje podpory FVE v České republice.....	24
1.13.1 Mechanismus výkupních cen a zelených bonusů (feed-in tariff).....	25
1.13.2 Daňová úleva .....	25
1.13.3 Dotační tituly v ČR .....	26
1.13.4 Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny využitím slunečního záření .....	27
1.14 SW produkty pro návrh FVE.....	28
2. NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELKTRÁRNY .....	29
2.1 Základní geografické informace.....	29
2.2 Technologie uchycení FV panelů .....	31
2.3 Odhad výkonu elektrárny a roční výroby elektrické energie.....	32
2.3.1 FVE na rovné části střechy .....	32
2.3.2 FVE na šikmé části střechy .....	34
2.3.3 Odhad roční výroby elektrické energie .....	34
2.3.4 Vyvedení výkonu elektrárny.....	35
2.4 Tržby za elektrickou energií.....	35
2.5 Odhad investičních nákladů .....	36
2.5.1 Materiální náklady .....	36
2.5.2 Montážní práce .....	36
2.5.3 Ostatní náklady .....	36
2.5.4 Celková cena projektu .....	37
2.6 Ovládání FVE.....	37
2.7 Požadavky na údržbu .....	37
3. EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ PROJEKTU .....	38
3.1 Vstupní hodnoty pro výpočet ekonomických kritérií projektu .....	38



3.2 Výpočet ekonomických kritérií projektu.....	38
3.2 Citlivostní analýza projektu.....	39
4. ZÁVĚR.....	40
5. POUŽITÁ LITERATURA .....	41
6. PŘÍLOHY .....	42

## Seznam symbolů a zkratek

AC	Střídavý
Cu	Měď
ČR	Česká Republika
DC	Stejnoseměrný
EMR	Elektroměrový rozvaděč
ERU	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
eV	Elektronvolt
FV	Fotovoltaický
FVE	Fotovoltaická elektrárna
Ga	Galium
GWh	Gigawatthodina
HR	Hlavní rozvaděč
HVI vodič	Vodič s vysokonapětovou izolací pro hromosvody
In	Indium
J	Joule
JV	Jihovýchod
K	Kelvin
Kč	Koruna česká
kW	Kilowatt
m <sup>2</sup>	Metr čtvereční
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MWh	Megawatthodina
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
nm	Newtonmetr
OR	Obchodní rejstřík
S	Stroncium
Se	Selen
SFŽP	Státní fond životního prostředí
Tab	Tabulka
TW	Terawatt
V	Volt
Vý	východ
W	Watt
Wp	Watt při optimálních podmínkách
Z	západ

## Seznam tabulek

Tabulka	Název
Tab. 1.1	Aktuální výkupní ceny elektřiny podle ERÚ
Tab. 2.1	Vyrobená elektřina FVE
Tab. 2.2	Vyrobená elektřina FVE
Tab. 2.3	Soupis materiálu
Tab. 3.1	Výsledky citlivostní analýzy

## Seznam obrázků

Obrázek	Název
<i>Obr. 1.1</i>	<i>Nejstarší československá solární soustava</i>
<i>Obr. 1.2</i>	<i>Valenční a zakázané pásy v polovodičích</i>
<i>Obr. 1.3</i>	<i>Schematické znázornění struktury polovodiče</i>
<i>Obr. 1.4</i>	<i>Schéma fotovoltaického článku</i>
<i>Obr. 1.5</i>	<i>Část spektra slunečního záření využitelná křemikovým FV článkem</i>
<i>Obr. 1.6</i>	<i>Sluneční spektrum po průchodu atmosférou pod úhlem 48° od normály</i>
<i>Obr. 1.7</i>	<i>Pásové schéma p-n přechodu krystalického křemíku</i>
<i>Obr. 1.8</i>	<i>Schematické znázornění struktury křemikového solárního článku se zanořenými kontakty</i>
<i>Obr. 1.9</i>	<i>Voltampérové charakteristiky křemikového fotovoltaického článku</i>
<i>Obr. 1.10</i>	<i>Sluneční záření v ČR – kWh/m<sup>2</sup></i>
<i>Obr. 1.11</i>	<i>Umístění panelů na střeše</i>
<i>Obr. 1.12</i>	<i>Zapojení hromosvodu</i>
<i>Obr. 1.13</i>	<i>Ochranný úhel jímací tyče</i>
<i>Obr. 1.14</i>	<i>Mřížová zemnicí soustava</i>
<i>Obr. 1.15</i>	<i>Ukázka montáže</i>
<i>Obr. 1.16</i>	<i>FV panely chráněné oddáleným hromosvodem</i>
<i>Obr. 1.17</i>	<i>FVE chráněna výškovými jímači</i>
<i>Obr. 2.1</i>	<i>Detail skládky na uhlí</i>
<i>Obr. 2.2</i>	<i>Detail skládky na uhlí</i>
<i>Obr. 2.3</i>	<i>Trojúhelníkové konstrukce pro FV panely</i>
<i>Obr. 2.4</i>	<i>Přichycení panelům na šikmé střeše</i>
<i>Obr. 2.5</i>	<i>Výpočet mezer řad panelů</i>
<i>Obr. 2.6</i>	<i>Detail použitého střídače</i>

# ÚVOD

Společnost Dalkia Česká republika je jedním z největších výrobců elektrické a tepla v České republice. Výroba elektřiny ve společnosti Dalkia probíhá převážně kombinovaným způsobem, který je šetrný k životnímu prostředí. Společnost Dalkia je také výrazným poskytovatelem podpůrných služeb pro společnost ČEPS, a.s. Společnost Dalkia se již několik let v rámci své politiky trvale udržitelného rozvoje zabývá také spalováním biomasy a to téměř na všech svých zdrojích tepla a přímo tak napomáhá snižování emisí CO<sub>2</sub>.

Tato společnost se rozhodla na jednom ze svých centrálních zdrojů tepla posoudit možnost výstavby fotovoltaické elektrárny na střechu své kryté uhelné skládky o objemu 45 000 m<sup>3</sup>. Tepelná a elektrická energie je na teplárně vyráběna ve dvou parních kotlích K5 (188,5 t/h, 535 °C, 13,5 MPa) a K3 (100 t/h, 485 °C, 6,0 MPa) a dvou protitlakých turbínách TG3 (41 MW<sub>e</sub>) a TG4 (8 MW<sub>e</sub>). Dodávka do soustavy centralizovaného zásobování teplem je realizována prostřednictvím páry a horké vody. Teplárna v letech 1996 až 2000 prošla rozsáhlou modernizací v objemu cca 2,5 mld. Kč.

Smyslem práce je posouzení ekonomické vhodnosti výstavby fotovoltaické elektrárny na střechu kryté uhelné skládky v Teplárně Olomouc.

Hlavními cíly práce jsou:

- teoretický rozbor problematiky využití sluneční energie a to i v historické kontextu
- zjednodušený návrh fotovoltaické elektrárny při zohlednění lokálních podmínek teplárny
- ekonomické vyhodnocení technického návrhu
- zhodnocení projektu

Téma této bakalářské práce jsem si vybral s ohledem na skutečnost, že se jedná o velice mediálně komunikované téma a s ohledem na skutečnost, že jsem se chtěl v rámci svého studie blíže seznámit s danou problematikou teplárenství.

# 1. HISTORIE A TEORIE SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ

## 1.1 Slunce jako zdroj energie

Primárním zdrojem energie ve Slunci je jaderná fúze, tj. spojování jader vodíku za vzniku helia a posléze dalších těžších prvků. Ve Slunci se každou sekundu přemění 600 milionů tun vodíku na helium. Hmotnost vzniklého helia je o něco menší než hmotnost do reakce vstupujícího vodíku. Rozdíl hmotnosti se podle známého Einsteinova vztahu  $E = m \cdot c^2$  dá přepočítat na energii. Ve Slunci tedy každou sekundu ubude 4,26 milionu tun hmoty, což představuje uvolnění  $3,8 \cdot 10^{26}$  J energie. Slunce je ve stabilním stadiu svého vývoje a setrvá tak ještě dalších přibližně 5 miliard let. Jde tedy z hlediska délky lidského života i z hlediska délky lidské civilizace o zdroj opravdu „**udržitelný**“, i když nikoli „**věčný**“. [5]

Po uplynutí této takzvané stabilní fáze se poloměr Slunce asi 1,5 krát zvětší a díky tomu se zvětší i jeho výkon. To ovšem bude trvat pouze do té doby, než Slunce vyčerpá svou zásobu vodíku, kterou disponuje. Poté se Slunce stane „**červeným obrem**“ který tím jak poroste, pohltí většinu planet naší soustavy. V jádru Slunce začnou probíhat reakce a nakonec se s něj stane postupným chladnutím „**bílý trpaslík**“ a nakonec až vychladne úplně, bude „**červeným trpaslíkem**“

Teplota slunečního povrchu je přibližně 5 900 K. Ze Slunce je energie přenášena na Zemi ve formě elektromagnetického záření. Na hranici zemské atmosféry je hustota dopadající solární energie (solární konstanta) přibližně  $1,4 \text{ kW/m}^2$ . Celkem na povrch Země osvětlený Sluncem dopadá zářivý výkon 180 000 TW ( $1,8 \cdot 10^{17}$  W). Spotřeba celé naší civilizace je pouze asi 10 TW (energie z uhlí, nafty, zemního plynu, z jaderných elektráren, biomasy i energie obsažená v potravě). Nabídka solární energie je tedy více než dostatečná k tomu, aby mohla případně nahradit všechny ostatní zdroje. Část dopadající energie je ovšem při průchodu atmosférou pohlcena či odražena, a na zemský povrch tedy dopadá (v závislosti na momentálním stavu atmosféry) již méně než 1 kW při slunečním svitu a jen desítky wattů při zatažené obloze. Většina sluneční energie, která dopadá na povrch atmosféry a proniká k zemskému povrchu, se vyzáří zpět do vesmíru jednak ve formě krátkodobého záření (cca 30 %), jednak ve formě dlouhodobého záření, tedy tepla (47 %). Podstatná část sluneční energie se přemění na teplo a uplatňuje v koloběhu vody (vypařování). [5]

Je pouze na škodu, že toto sluneční záření tak málo využíváme. Přitom při využívání tohoto záření se neprodukuje žádné škodlivé emise a ani okolí není zatíženo hlukem. Pouze pro srovnání na plochu rodinného domu za rok ze slunce dopadne přibližně 100 MWh energie. Pro srovnání na jeho zahradu pak cca 1 GWh. Obvyklá roční spotřeba elektřiny v rodinném domě představuje přibližně 3,8 MWh a v kombinaci s vytápěním pak cca 20 až 30 MWh. Teoreticky se dá konstatovat, že bychom byli schopni vystačit pouze se sluneční energií.

### 1.1.1 Sluneční záření na Zemi

První věc, kterou potřebujeme znát, pokud chceme využívat sluneční záření k výrobě elektřiny je využitelný potenciál tohoto zdroje. V reálné praxi se jedná o získání informace o tom, kolik energie můžeme získat z dané plochy za určitou dobu (den, měsíc, rok) a na čem tato energetická výtěžnost záleží.

Pokud využíváme sluneční energii pro výrobu elektřiny na družicích pohybující se na oběžné dráze kolem Země (historicky první praktické využití fotovoltaiky), je situace v zásadě jednoduchá a přehledná. Není-li Slunce zrovna zastíněno Zemí nebo jiným tělesem (což je zcela předvídatelné a netrvá to zas tak dlouho), dopadá na fotovoltaický panel stálý tok energie zhruba ve výši dané solární konstantou, tj. výše zmiňovaných  $1,4 \text{ kW/m}^2$ . V kosmickém prostoru také zpravidla nebývá problém nastavit panely tak, aby na ně dopadalo záření téměř kolmo. Pokud ovšem instalujeme fotovoltaické panely na Zemi, pak se problémů objevuje hned celá řada. Sluneční záření je totiž výrazně ovlivňováno momentálním počasím, znečištění atmosféry, měnící se polohou slunce na obloze v průběhu dne a roku (výška nad obzorem a azimut) a v neposlední řadě i stínění od jiných staveb nebo stromů.

## **1.2 Historie FVE**

Díky historickému objevu francouzského fyzika Alexandre Edmond Becquerela roku 1839 se po dlouhých 100 letech podařila výroba prvního solárního článku v laboratořích Bell. Účinnost tehdejších solárních panelů dosahovala 10 % efektivity v současnosti používaných technologií. Vzhledem k náročnosti výroby fotovoltaických článků, nízké efektivitě a vysoké ceně došlo k instalaci prvního velkého fotovoltaického systému pro výrobu elektrické energie až koncem osmdesátých let 20. století ve Spojených státech amerických. [8] V Evropě se od roku 1973 nejvíce stavbou FVE zabývali v Německu a v Rakousku, kde se zaměřovali na malé FVE na střechy rodinných domů.

Česká a Slovenská solární historie není historií v pravém slova smyslu. Badatelé nemusí hledat v zaprášených archivech, některé "historické" solární soustavy jsou dodnes funkční. Jedna z nejstarších aplikací se nachází v Kojetíně v okrese Přerov a je do dnešního dne funkční.

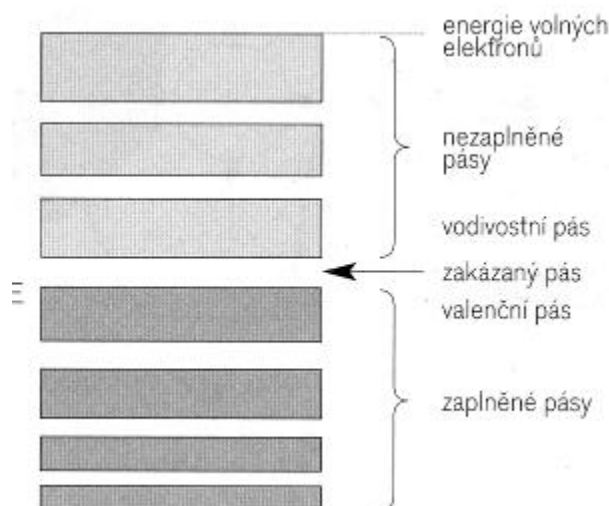


***Obr. 1.1 - Nejstarší československá solární soustava z roku 1976, závod VŽKG v Kojetíně na Přerovsku, dodnes funkční. Foto: J. Baloun [2]***

### 1.3 Fyzikální princip polovodičového fotovoltaického článku

K tomu, abychom přeměnily energii proudu fotonů (slunečního záření) v energii pohybujících se elektronů (elektrický proud), potřebujeme v zásadě pouze dvě věci:

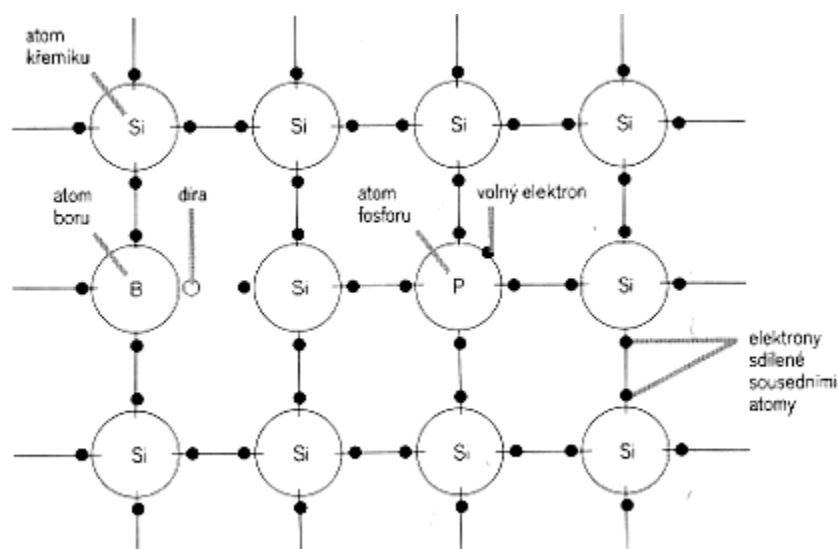
- volné elektrony
- elektrický potenciál (pole), který je uvede do pohybu směrem ze zdroje do spotřebiče



*Obr. 1.2 - Valenční a zakázané pásy v polovodičích [5]*

Volné elektrony nepředstavují problém, jsou k dispozici v každém kovu; Albert Einstein je nazval fotony. Foton slunečního záření dokáže předat svou energii elektronu v kovu nebo polovodiči; samotný přenos energie ze záření na elektrony je tedy možný. Již od 19. století je známo, že pokud ozařujeme povrch kovu zářením, tak dochází k uvolnění elektronů z jeho povrchu. Pokud je energie záření dostatečná, elektron vylétne z povrchu kovu a zanechá po sobě v kovu kladný náboj – fyzikové jej nazývají dírou. Jde o takzvaný fotoelektrický jev. Pokud ovšem elektron zůstane v kovu (my nechceme, aby nám elektron vylétl pryč, my jej potřebujeme „protlačit“ skrz vodič a zátěž), pak je zase rychle přitažen k díře, která po něm zbyla, a jeho energie se uvolní jako neužitečné teplo. Je proto nutné oddělit od sebe elektrony a díry a „donutit“ elektrony, aby předtím, než „zapadnou“ zpět do díry, prošly elektrickým obvodem a vydaly energii získanou ze slunečního záření ve formě užitečné práce v našem spotřebiči. Toto oddělení se dá lépe realizovat v polovodičích než v kovech. Polovodiče jsou látky, jejichž elektrické vlastnosti leží někde mezi kovy a izolanty, tj. nejsou v nich volné elektrony jako v kovech, ale relativně snadno tam mohou vzniknout. K výše zmíněnému oddělení elektronů z děr je zapotřebí vytvořit v polovodiči takzvaný p-n přechod. [5]





**Obr. 1.3** - Schematické znázornění struktury polovodiče (atomy fosforu a boru inkorporované do krystalové mřížky křemíku) [5]

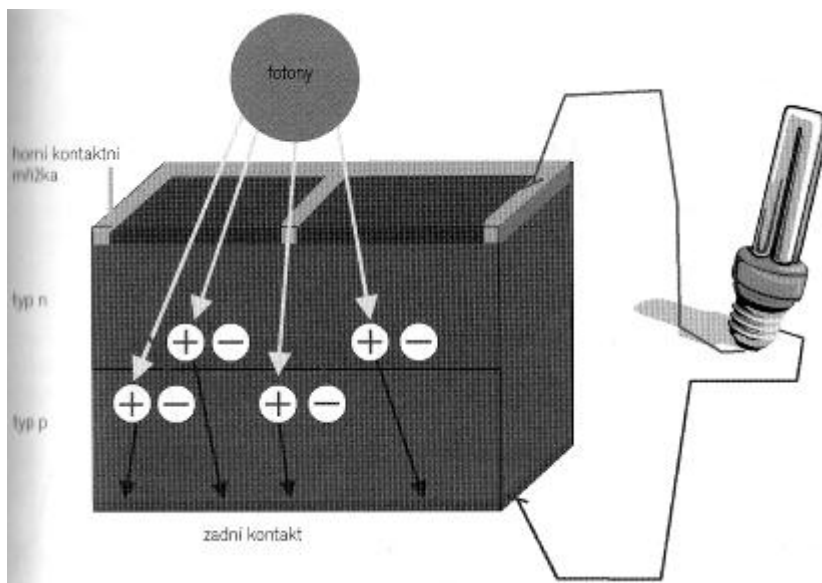
Tento p-n přechod je základem celé naší moderní elektroniky a pochopení toho, jak funguje, je podstatné pro pochopení fotovoltaického článku. Podstatu vzniku p-n přechodu lze vysvětlit na nejběžnějším polovodičovém materiálu – křemíku. Tuhý křemík je tvořen mřížkou atomů křemíku, které jsou navzájem spojeny kovalentními vazbami a na rozdíl od kovů se v takovémto materiálu žádné volné (k atomům nevázané) elektrony nevyskytují. Kovalentní vazby v křemíku nejsou ale zdaleka tak pevné, jako je tomu například u uhlíku (ve formě diamantu). K uvolnění elektronů z vazeb stačí u křemíku dodat poměrně malé množství energie; fyzikové říkají, že křemík má poměrně malou vzdálenost (rozdíl energie) mezi posledním obsazeným (valenčním) orbitalem a prvním neobsazeným. Při pokojové teplotě má proto vždy nějaké (malé) množství elektronů dostatečnou energii na to, aby se uvolnily z vazeb a dostaly do neobsazeného (vodivostního) pásu. Křemík proto (na rozdíl od diamantu) v malé míře vede elektrický proud. Se zvyšováním teploty se křemík stává více a více vodivý – díky tomu, že se do vodivostního pásu dostává více elektronů. Podobná situace nastává i při osvětlení křemíku slunečním zářením. Vodivost se výrazně změní, pokud křemík obsahuje určité příměsi. [5]

Zpravidla se přidává malé množství fosforu nebo boru – jde o takzvané dopování křemíku. Fosfor má ve valenční sféře 5 elektronů, ale ve vazbách s okolními atomy křemíku se mohou uplatnit jen 4 elektrony. Dopováním křemíku fosforem vznikne polovodič typu n, který má nadbytečné elektrony a je podstatně více vodivý než čistý křemík. Analogicky přidáním boru (se 3 elektrony) vznikne polovodič typu p s nadbytečnými dírami (místa, kde chybí elektron). Pokud se těsně spojí oba typy polovodiče, vznikne v místě jejich dotyku tenoučká vrstva, která se nazývá p-n přechod a má zajímavé a užitečné vlastnosti. Koncentrace elektronů je větší v polovodiči typu n než v polovodiči typu p; s koncentrací děr je to naopak. Spojíme-li dohromady polovodič typu n a polovodič typu p, dojde k tomu, že ve snaze vyrovnat koncentrace difundují elektrony do části p a díry do části n. [5]

Pokaždé, když se elektron a díra k sobě přiblíží natolik, že se dotknou, navzájem se vyruší (elektron „zapadne“ do díry). Nabité částice na opačné straně se přestanou pohybovat, protože po elektronech zůstanou kladně nabitě náboje a po dírách záporné náboje. Díky tomu se elektrické pole zastaví.

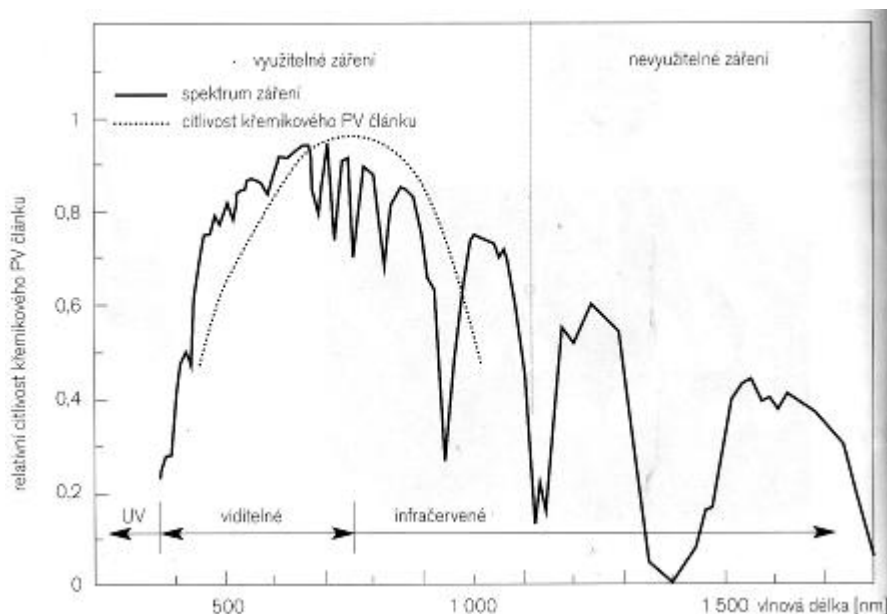
Výsledkem procesu je výrazné snížení vodivosti v oblasti p-n přechodu a vytvoření elektrického potenciálu (na p-části přechodu je záporný náboj a na n-části kladný). Této vlastnosti p-n přechodu se využívá v usměrňovacích diodách. Pokud totiž připojíme na stranu p kladný pól zdroje napětí

(„odsáváme“ odtud elektrony) a na stranu n záporný pól zdroje (přilétají tam elektrony), může proud přes p-n přechod procházet. Pokud polaritu obrátíme, a tedy množství elektronů v části n ještě snížíme, proud neprochází. Vlastní fotovoltaický článek je vlastně taková velkoplošná dioda. Je vytvořen tak, že v tenkém plátku křemíku je v malé hloubce pod povrchem vytvořen p-n přechod opatřený z obou stran vhodnými kovovými kontakty. Když na něj dopadá sluneční záření, generují se volné elektrony a díry. Elektrické pole p-n přechodu je oddělí a pošle na opačné strany; elektrony do vrstvy typu n, která se tak stane záporným pólem fotovoltaického článku, a díry do vrstvy typu p, která tvoří kladný pól (Obr.1.4). Napětí fotovoltaického článku je dáno použitým polovodičem; v případě křemíku je to přibližně 0,6 V a při zatížení ještě trochu klesá (udává se, že při optimálním proudu, kdy je výkon článku maximální, je napětí 0,5 V). [5]



**Obr. 1.4 - Schéma fotovoltaického článku [5]**

Vzhledem k tomu je nutné spojovat řadu článků do série, aby se získalo prakticky využitelné napětí (zpravidla se používají moduly s 36 nebo 72 články, které dávají 18 nebo 36 V). Jak již bylo uvedeno, fotovoltaický článek může využít jen takové fotony, jejichž energie je větší než rozdíl energie mezi valenčním a vodivostním pásem u použitého polovodiče. Křemíkový článek může využít fotony s energií větší než asi 1,1 eV, což představuje záření o vlnové délce menší než 1 100 nm (pro fotony platí, že čím je jejich vlnová délka kratší, tím větší mají energii). Sluneční záření procházející atmosférou obsahuje fotony s energiemi od 0,5 eV (infračervené záření) do asi 2,9 eV (ultrafialové záření). Do oblasti využitelné křemíkovými články spadá velká část energie slunečního záření – to je také jeden z důvodů, proč se křemík používá (Obr. 1.5). Energie fotonů s kratší vlnovou délkou (větší energií) ale není využita beze zbytku; každý foton uvolní jen jeden elektron a přebytek jeho energie se promění v teplo. V důsledku toho nelze principiálně dosáhnout s takovýmto článkem větší než asi 55 % využití energie záření. U reálného fotovoltaického článku jsou ještě další ztráty a v praxi se dosahuje účinnosti mezi 10 až 20 %. [5]



*Obr. 1.5 - Část spektra slunečního záření využitelná křemíkovým FV článkem [5]*

## **1.4 Časové milníky vývoje fotovoltaických článků**

### **1.4.1 První generace**

První generací se nazývají fotovoltaické články využívající jako základ křemíkové desky. Dnes jsou nejrozšířenější technologií na trhu (cca 90 %) a dosahují poměrně vysoké účinnosti přeměny (v sériové výrobě 16 až 19 %, speciální struktury až 24 %). Komerčně se začaly prodávat v sedmdesátých letech 20. století. Přestože je jejich výroba relativně drahá (a to zejména z důvodu drahého vstupního materiálu – krystalického křemíku), budou ještě v několika dalších letech na trhu dominovat. [1]

### **1.4.2 Druhá generace**

Impulem pro rozvoj článků druhé generace byla především snaha o snížení výrobních nákladů úsporou drahého základního materiálu – křemíku. Články druhé generace se vyznačují 100 až 1000 krát tenčí aktivní absorbující polovodičovou vrstvou (thin-film) a jejími představiteli jsou např. články z amorfního a mikrokrytalického křemíku (případně silicon-germania, či silicon-karbidu, ale také tzv. směsné polovodiče z materiálů jako Cu, In, Ga, S, Se, označované obecně jako CIS struktury). S úsporou materiálu došlo v porovnání s články první generace k poklesu výrobních nákladů (a tedy za předpokladu velkosériové výroby i k poklesu ceny), nicméně dosahovaná účinnost je obvykle nižší (v sériové výrobě obecně pod 10 %). Nespornou výhodou tenkovrstvých článků je možnost volby substrátu (na něž se tenkovrstvé struktury deponují) a v případě použití flexibilních materiálů (organické, kovové či textilní folie) i značně širší aplikační sféra. Komerčně se začaly články druhé generace prodávat v polovině osmdesátých let. [1]

### **1.4.3 Třetí generace**

Pokus o „fotovoltaickou revoluci“ představují solární články třetí generace. Zde je hlavním cílem nejen snaha o maximalizaci počtu absorbovaných fotonů a následně generovaných párů elektron - díra „proudový“ zisk, ale i maximalizace využití energie dopadajících fotonů „napěťový“ zisk fotovoltaiických článků. Existuje řada směrů, kterým je ve výzkumu věnována pozornost:

- vícevrstvé solární články (z tenkých vrstev)
- články s vícenásobnými pásy
- články, které by využívaly „horké“ nosiče náboje pro generaci více párů elektronů a děr
- termofotovoltaická přeměna, kde absorbér je současně i radiátorem vyzařujícím selektivně na jedné energii
- termofotonická přeměna, kde absorbér je nahrazen elektroluminiscencí
- články využívají kvantových jevů v kvantových tečkách nebo kvantových jamách
- organické články (např. na bázi objemových heteropřechodů)

Zatím jediným komerčním příkladem dobře fungujících článků třetí generace (přímo navazující na FV druhé generace) jsou vícevrstvé struktury (dvojvrstvé – tzv. tandemy a trojvrstvé články). [1]

## **1.5 Fotovoltaický článek**

Správným zapojením fotovoltaiických článků a následným přidáním ochranného skla vznikne fotovoltaiický panel o výkonu cca 130 - 160 Wp/m<sup>2</sup>. Wp znamená špičkový výkon při ideálních podmínkách. Za ideální podmínky považujeme světlo o intenzitě 1 000 W/m<sup>2</sup> dopadající kolmo na panel při teplotě 25 °C. Množství získané energie záleží na níže uvedených faktorech:

- na technologii výroby FV panelů (účinnosti)
- na intenzitě dopadajícího světla (lokalita)
- na ploše, na kterou světlo dopadá (přímo-úměrně) [6]

### **1.5.1 Monokrystalické panely**

Jsou ideální pro šikmé střechy s orientací na Jih s odklonem nazápad + 5 a -10° a pro dvouosé polohovací jednotky- trackery. Současný výkon panelu je mezi 170 - 200 Wp/m<sup>2</sup>. Životnost těchto panelů je 30 let. Po dobu 10 let se garantuje 90 % výkonu, po 25 letech 80 % výkonu. Barva panelů je černá [6].

### **1.5.2 Polykrystalické panely**

Využití těchto panelů lze nalézt na střešních systémech i na pozemcích. U těchto panelů je třeba mírně větší plochy než u mono panelů. Mohou být orientovány i na jinou světovou stranu než jih (JV, VÝ, Z). Panely dokáží lépe přeměňovat i difuzní záření (nedosáhnou ale výkonu ideálně nastavených mono panelů). Nejvyšší výkon na panel je až 260 Wp/m<sup>2</sup>. Životnost panelů je cca 30 let. Po dobu 10 let

stejně jak u monokrystalických panelů je garantováno 90 % výkonu, po 25 letech pak 80 % výkonu. Barva panelů je tmavě modrá. [6]

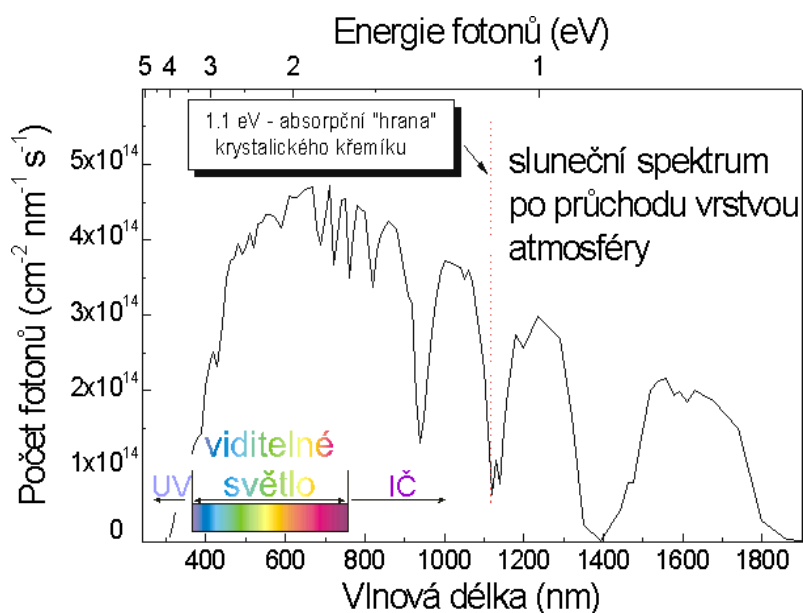
### **1.5.3 Tenkovrstvé a Si panely**

Tyto panely jsou ideální pro elektrárny, které nejsou omezeny plochou pozemku. Vykazují nižší pořizovací náklady. Za stejných podmínek vyrobí o 10 až 15 % více elektřiny než krystalické solární panely. Tyto panely se používají při dopadu difuzního světla - ideální při špatné orientaci střechy a území s častou oblačností. U těchto systémů je třeba počítat s plochou řádově 2.5 x větší než u elektráren vybavených krystalickými panely.

Životnost panelů je cca 20 let. Po dobu 10 let stejně jak u monokrystalických panelů je garantováno 90 % výkonu, po 15 letech pak 80 % výkonu. Barva panelů je červeno-hnědá.

### **1.6 Funkce křemíkový fotovoltaických článků**

Křemík má stejnou krystalovou strukturu jako diamant. Na rozdíl od diamantu však není průhledný, absorbuje světlo o kratší vlnové délce než zhruba 1 mikrometr (fotony o větší energii než zhruba 1,1 elektronvoltů), to jest část infračerveného, celé viditelné a ultrafialové spektrum. Absorbuje tedy větší část celého slunečního spektra. To je znázorněno na obr. 1.6, kde vidíme spektrum slunečního záření po průchodu atmosférou, spolu s absorpční hranou křemíku. [9]

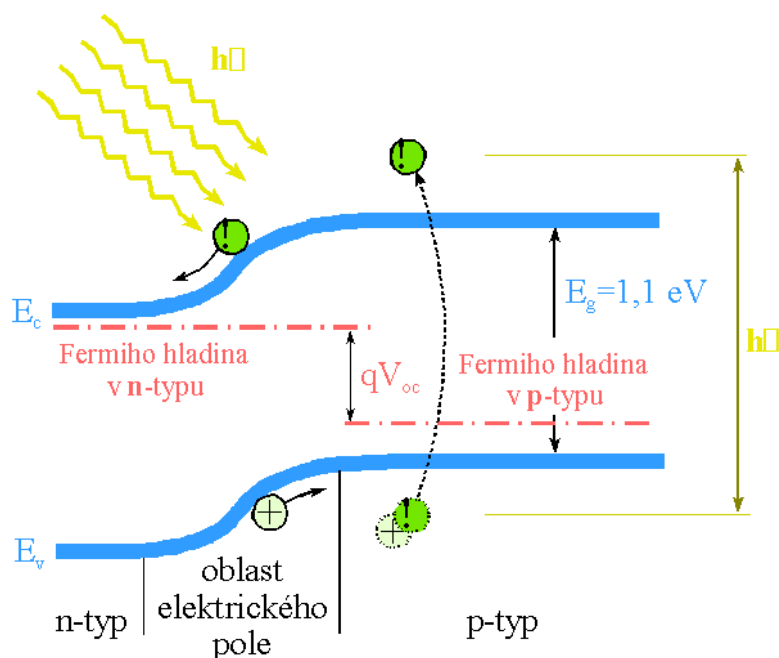


**Obr. 1.6** - Sluneční spektrum po průchodu atmosférou pod úhlem  $48^\circ$  od normály [9]

Dopadá-li na křemík foton o energii menší než 1,1 eV, projde křemíkem a není absorbován. Když je jeho energie větší než 1,1 eV (tato energie odpovídá šířce zakázaného pásu a tedy absorpční hraně křemíku) pak je tento foton absorbován a v polovodiči vznikne jeden volný elektron a jedna volná díra. Energetický rozdíl mezi energií dopadajícího fotonu a šířkou zakázaného pásu se přeměňuje na teplo a je

hlavním důvodem, že teoretická účinnost jednoduchého článku v plenární konfiguraci příliš nepřesáhne 30 %. [9]

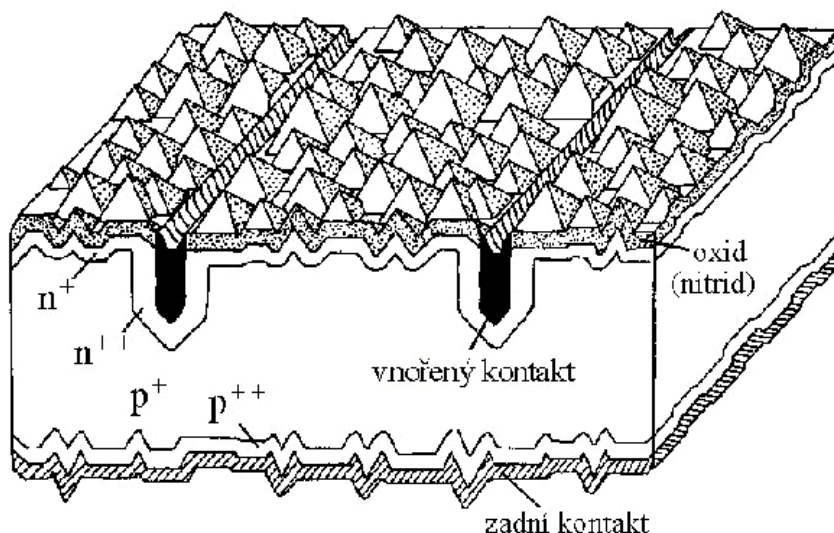
Aby sluneční článek sloužil jako zdroj proudu, musí v něm nastat rozdělení elektronů a děr. Sluneční článek není homogenní polovodič, ale skládá se z části mající elektronovou vodivost (materiál typu *n*, například křemík s příměsí fosforu) a části mající děrovou vodivost (materiál typu *p*, například křemík s příměsí boru). Vše je znázorněno na obr.1.7. [9]



**Obr. 1.7 - Pásové schéma *p-n* přechodu krystalického křemíku [9]**

Na přechodu *p-n* dojde k oddělení díry a elektronu a na přívodních kontaktech vznikne napětí  $V_{oc}$  (v případě křemíku 0,5-0,6 V) a připojíme-li ke kontaktům spotřebič, protéká jím elektrický proud. Ten je přímo úměrný počtu absorbovaných fotonů a tedy i ploše celého slunečního článku. Fotovoltaický sluneční článek je tedy polovodičová dioda (přechod *p-n*) mající velkou plochu (decimetry čtvereční), spodní celoplošný kovový kontakt (reflektor) a vrchní kovový kontakt (mřížku, hřeben) zabírající velmi malou plochu (4-8 % plochy článku), aby nestínil. Skutečná struktura je mnohem složitější, jak je vidět na obr.1.8, s cílem zmenšení všech možných ztrát (reflexe světla, rekombinace nosičů proudu) a realizace co největší účinnosti přeměny sluneční energie v energii elektrickou. [9]

**Teoretická účinnost v případě článku z krystalického křemíku je okolo 30 %.** Vyšší teoretické účinnosti lze dosáhnout u článků složených z různých materiálů s různou absorpční hranou nebo koncentrací světla, která zvyšuje (logaritmicky) získané napětí. [9]

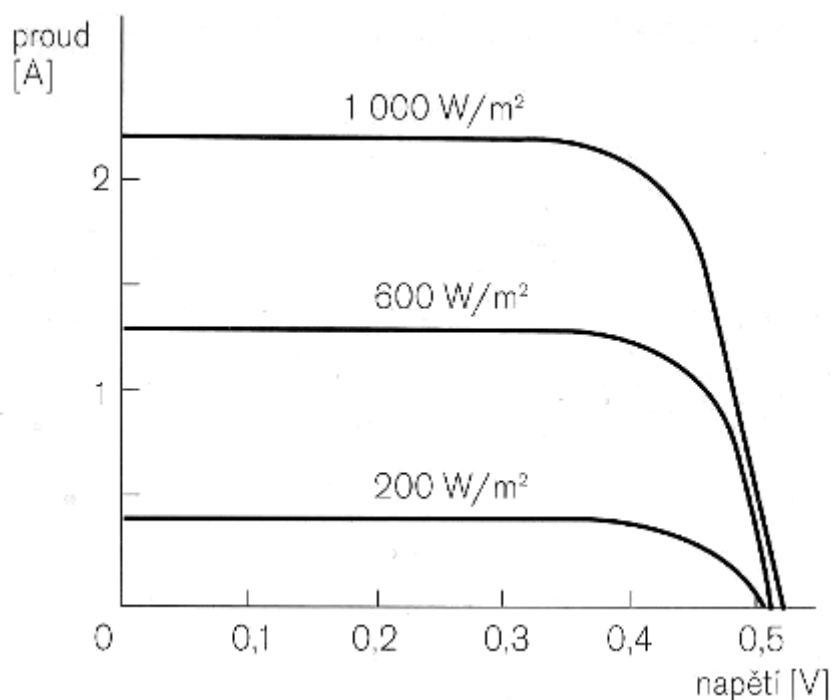


**Obr. 1.8** - Schematické znázornění struktury křemíkového solárního článku se zanořenými kontakty [9]

Sluneční články se spojují sériově a paralelně do slunečních panelů, které již dávají požadované napětí a stejnosměrný proud. Malý konvertor umožňuje připojení na standardní střídavou síť 220 V.

## **1.7 Elektrické vlastnosti fotovoltaických článků**

Pro praktické využití jakéhokoli zdroje energie (tedy i fotovoltaických článků) jsou důležité tři veličiny: napětí, proud a vnitřní odpor. U fotovoltaických článků je napětí naprázdno (napětí při nulovém proudu) dáno především použitým polovodičem. Proud nakrátko (při nulovém napětí) je dán intenzitou dopadajícího záření, fotovoltaický článek se při konstantní intenzitě slunečního záření chová jako zdroj konstantního proudu, jehož intenzita je limitována počtem fotonů dopadajících za jednotku času. Zpravidla se článek charakterizuje voltampérovou charakteristikou, tj. závislost proudu na napětí (případě při různých intenzitách osvětlení) blíže viz. obr. 1.9. Proud tekoucí článkem pochopitelně závisí i na účinnosti – článek s větší účinností při dané intenzitě záření může dávat větší proud. Důležitý je také vnitřní odpor článku (na vnitřním odporu dochází k nežádoucímu úbytku napětí). Kromě toho se uplatňují i další vnější vlivy, především teplota (vyšší teplota znamená nižší napětí). V praxi nás ovšem zajímá hlavně výkon článku, tedy součin napětí a proudu. Z tvaru voltampérové charakteristiky vyplývá, že při daných podmínkách (osvětlení, teplota) existuje právě jedna hodnota napětí a proudu, při níž nabývá výkon článku maximální hodnoty. Pokud je to možné, snažíme se provozovat fotovoltaický články v tomto optimálním pracovním bodu. Moderní měniče typu MPPT (Maximum Power Point Tracker) dokážou pracovat v režimu, kdy v každém okamžiku zatěžují fotovoltaický modul tak, aby jeho výkon byl maximální možný. Výkon se udává při intenzitě slunečního záření  $1\,000\text{ W/m}^2$ , solární referenčním spektru AM 1,5 a teplotě p-n přechodu  $25\text{ °C}$  (to je méně než obvyklá pracovní teplota). [5]



**Obr. 1.9** - Voltampérové charakteristiky křemíkového fotovoltaiického článku [5]

## **1.8 Fotovoltaiická elektrárna**

FVE je několik solárních panelů montovaných na pevné, či otočné konstrukce připojených na střídač, z kterého jde střídavý proud do rozvaděče přes měřič Zeleného bonusu a dále do spotřebičů, či do sítě NN.

Dle způsobu dodávky energie do elektrorozvodné sítě pak rozlišujeme tyto 3 základní způsoby:

- *ostrovní systém (bez připojení na elektrorozvodnou síť* - Vyžaduje nákladné baterie, které energii uchovávají a jejichž ekonomická návratnost je diskutabilní. [6]
- *připojení na síť samostatnou přípojkou* - Tato varianta je zvýhodněna vyšší výkupní cenou za jednu dodanou kWh, ale není zde možnost úspory za spotřebovanou energii. Proto se jedná o způsob připojení vhodný u větších instalací všude tam, kde je elektrárna postavena pouze za účelem dodávky do rozvodné sítě bez možnosti odběru. [6]
- *připojení na síť za využití tzv. Zeleného bonusu*- Tento způsob je ekonomicky nejvýhodnějším způsobem zapojení a je ideální všude tam, kde v době výroby elektrické energie dovede výrobce (majitel, nájemce) vyrobenou energii současně alespoň z části spotřebovat. Výhoda je také v úspoře za zřízení nové přípojky - výrobní energie se připojí do stávajícího rozvodu. Zdánlivou nevýhodou je o korunu nižší výkupní cena za kWh. Toto je ovšem velmi zajímavě kompenzováno faktem, že v okamžiku, kdy výrobní elektřinu vyrábí, je výkon výroby k dispozici zcela zdarma - tedy když se vyrábí a současně spotřebovává, tak se spotřebovaná energie neplatí běžným tarifem (např. 3,-



Kč/kWh), ale je zcela zdarma. Díky tomu, že lze jen těžko docílit, aby všechna vyrobená energie byla spotřebována, zejména v případě, že existuje jen malý, stálý odběr. [6]

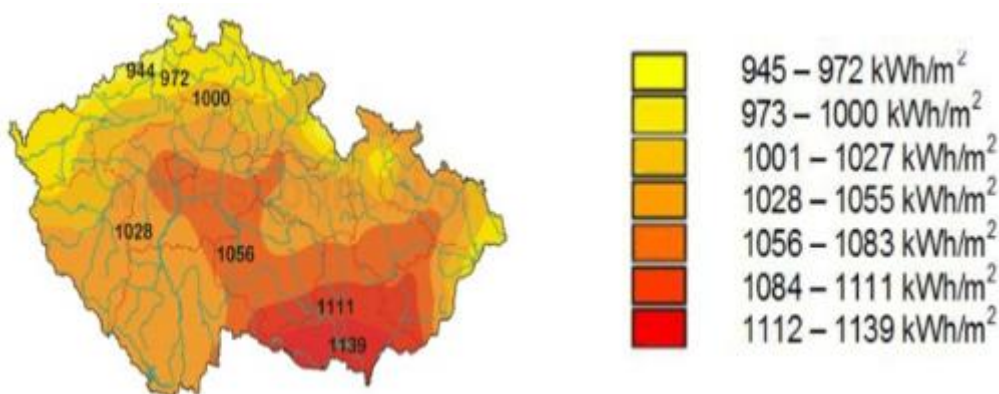
## **1.9 Ztráty FVE**

Ve FVE se setkáme s dvěma druhy ztrát a to se ztrátami elektrickými a ztrátami díky zastínění. Každý elektrický systém má určité ztráty (na vedení, při převodu na střídavý proud v měniči, atd.). U současných vyspělých FVE se počítá cca 11 %. Tyto ztráty můžeme nazývat přenosové. K těmto ztrátám dochází při jakémkoliv přenosu elektrické energie (čím vyšší proud tím vyšší ztráty). Tyto ztráty můžeme ovlivnit snížením impedance nebo snížením protékajícího proudu. Impedanci je možné snížit zvětšením průřezu vodičů nebo volbou vhodného materiálu (např. použít měď místo hliníku nebo oceli). Další možností je snížení protékajícího proudu, čehož se dá při konstantním přeneseném výkonu dosáhnout zvýšením napětí.

Ztráty zapříčiněné zastíněním panelů můžeme ovlivnit při výstavbě FVE nebo později likvidací materiálu, který stín způsobuje.

## **1.10 Potenciál slunečního svitu v ČR**

Geografické umístění FVE je nejideálnější v jižních regionech ČR s nejvyšší mírou sluneční radiace. Výkonnost panelů stoupá s nadmořskou výškou, ale klesá se zvyšující se teplotou (proto v květnových vlhkých dnech může FVE vyprodukovat více energie než v horkých srpnových). Panely musí být orientovány na Jih s ideálním odklonem 5-10° na Západ a musí být nezastíněny. Správný sklon panelů bývá udáván mezi 30-40° od vodorovné roviny. V případě stavby FVE na rovné střeše nebo pozemku si poradíme s orientací snadno pomocí montážních konstrukcí. Pokud je střecha odkloněna od jihu o více než 45° na východ či západ, stavbu raději nedoporučujeme. [6]



*Obr. 1.10 - Sluneční záření v ČR – kWh/m² (dopad na vodorovnou plochu) [6]*

## **1.11 Možné koncepce FVE**

### **1.11.1 Střešní systémy**

Ideální FV systém pro soukromou potřebu do 15kW. Pro každou instalovanou 1 kW je potřeba cca plochy 8-9 m<sup>2</sup> (podle typu panelů) u sedlové střechy a 16 m<sup>2</sup> u rovné střechy. Ideální polohou systému je střecha s jižní orientací s odklonem cca 5 stupňů na jihozápad a se sklonem 30-40 stupňů. [6]

Pro tento systém se doporučuje používat monokrystalické a polykrystalické panely s výkonem od 180 - 250 W/m<sup>2</sup>. FV systém je instalován na stávající střechu s jakoukoliv povrchovou úpravou pomocí kovových konstrukcí, nebo lze systém včlenit do nově budované střechy místo krytiny. [6]

S tímto typem systému jsem se prakticky setkal při výstavbě tří FVE s firmou Elpramont s.r.o..

### **1.11.2 Systémy umístěné na nezastavěný pozemek**

Velikost FV Elektrárny je omezena pouze rozlohou pozemku, výši investice a možností připojení k distribuční soustavě. Standardní velikost elektrárny se pohybuje v rozmezí 20 kW až 3 MW a je instalovaná na velko - rozlohové střechy, nebo soukromé pozemky na pevné konstrukce, nebo otočné polohovací systémy (trackery) jež zvyšují výkon elektrárny o cca 35 %. [6]

Orientačně je možno instalovat cca 500 kW na 1 ha plochy systémem na pevné konstrukci. Cena těchto elektráren se pohybuje mezi 100 000 - 120 000 Kč/kW podle velikosti elektrárny a vzdálenosti přípojky. [6]

#### **a) Trackery**

Jedno a dvouosové nosiče panelů se snímačem polohy slunce, jejichž vyšší pořizovací náklady jsou zúročené 35 % zvýšením výkonu. Jednotlivý tracker unese 3 až 11 kW monokrystalických panelů podle typu a velikosti trackeru. [6]

#### **b) Systémy na pevných konstrukcích**

Jedná se o pevné kovové či plastové konstrukce, u kterých je třeba počítat s 2 x násobnou instalační plochou než je tomu u střešních systémů (je třeba počítat se zastíněním panelu panelem před ním) Pro elektrárnu na pozemek je možno použít všechny druhy FV panelů - jak monokrystalické a polykrystalické, tak amorfnní (tenkovrstvé) a Si panely (jejichž nižší cena je vykoupěna dva a půl násobně větší plochou potřebnou k instalaci). Návratnost těchto systémů se pohybuje kolem 8 let. [6]

## **1.12 Pomocná zařízení a komponenty fotovoltaických systémů**

### **1.12.1 Střídače, měniče napětí**

Jelikož výstupem fotovoltaického panelu je stejnosměrný proud, je nutné jej převést na proud střídavý o parametrech elektrické sítě (230/400 V, 50 Hz). Tuto přeměnu zajišťuje střídač. U malých elektráren kromě funkce přeměny proudu a napětí, také zajišťuje funkci ochrannou, kdy monitoruje napětí a frekvenci sítě a v případě výpadku, nebo nedodržení kvalitativních požadavků na vyrobenou elektřinu

elektrárnu od sítě odpojí. Každý kvalitní střídač dnes obsahuje jeden nebo více MPP (maximal power point) trackerů, což je funkce aktivního hledání optimálního pracovního bodu změnou vstupního odporu střídače a tím získání nejlepšího výkonu fotovoltaického panelu při daném ozáření. Čím lepší a propracovanější je algoritmus MPP trackeru tím vyšší bude výnos z fotovoltaického systému. Maximální účinnost dnešních střídačů se pohybuje kolem 96 % (EU účinnost, což je účinnost při částečném zatížení, kolem 93 %). Lepší účinnosti dosahují beztransformátorové střídače, které jsou vhodné zejména pro nízkonapěťové systémy složené z tenkovrstvých modulů. Střídače osazené transformátorem sice dosahují nižší účinnosti, ale na druhou stranu dosahují kvalitnějšího výstupu. [3]

### **1.12.2 Ochrany, které může obsahovat měnič napětí**

#### **1.12.2.1 Ochrana měniče napětí proti přetížení**

Pokud je měnič přetížen, vlivem příliš vysokého odběru proudu spotřebiče, dojde díky této ochraně k automatickému odpojení spotřebiče od baterie. Stavová LED dioda na měniči, nebo displeji, pak indukuje přetížení měniče. [4]

#### **1.12.2.2 Ochrana proti přepětí měniče na výstupu**

Indukční zátěž (motor) se po vypnutí napájení chová na velmi krátký čas jako zdroj napětí, který působí na výstup již vypnutého napájecího zdroje (v tomto případě na výstup měniče napětí). Tato krátká doba, po kterou se motor "změní na generátor", trvá pouze několik milisekund, nebo desítek milisekund, ale pokud by měnič nebyl proti tomuto stavu zabezpečen, mohlo by dojít k jeho zničení. A tomu zabraňuje právě ochrana měniče proti přepětí na výstupu. [4]

#### **1.12.2.3 Ochrana měniče napětí proti vysokému stejnosměrnému napětí na vstupu**

Tato ochrana zabezpečí, že se na vstupní obvody měniče napětí nedostane stejnosměrné napětí napájecí napětí větší než je přípustné a pokud se tak stane, odpojí ochrana měnič od zdroje napájení. Takto je zabezpečeno, že nedojde k poškození např. 12 V měniče, který bude omylem připojen k 24 V akumulátoru. U měničů s nominálním vstupním napětím je max. hodnota vstupního napětí obvykle 15 až 16 V. U měničů s nominálním vstupním napětím 24 V, je to pak hodnota max. vstupního napětí obvykle 30 až 32 V. [4]

#### **1.12.2.4 Ochrana měniče napětí proti zkratu na výstupu**

Tato ochrana chrání měnič napětí proti krátkému spojení (zkratu) na výstupu měniče. [4]

#### **1.12.2.5 Ochrana měniče napětí proti přepólování na vstupu**

Ochrana měniče proti přepólování na vstupu zajistí, že nedojde ke zničení měniče, pokud se omylem "přehodí" napájecí svorky měniče na baterii, tedy + na -. [4]

#### **1.12.2.6 Tepelná ochrana měniče napětí**

Účel tepelné ochrany měniče napětí je zcela zřejmý již z jejího názvu, nicméně: Zajišťuje, aby nedošlo, k eventuálnímu přehřátí měniče, pokud by byl měnič delší dobu provozován na horní hranici jeho výkonnostních možností, nebo aby nedošlo k přehřátí a tím ke zničení měniče v případě poruchy chladicího ventilátoru. Pokud dojde k vypnutí měniče, z důvodu jeho přehřátí, je možné jej znovu používat, až měnič ochladne na běžnou provozní teplotu. [4]

#### **1.12.2.7 Ochrana akumulátoru (autobaterie) proti jejímu hlubokému vybití**

Olověné akumulátory (především startovací typy) jsou velmi citlivé na tzv. hluboké vybití. Jedná se o vybití akumulátoru do takového stavu, kdy už napětí na akumulátoru poklesne pod cca 10 V. Hluboké

vybití akumulátoru, nejen výrazně zkracuje jeho životnost, ale akumulátor se může dostat do stavu, ze kterého se jej již žádným nabíjením nepodaří dostat. [4]

### **1.12.3 Nosná konstrukce**

Nezanedbatelnou částí fotovoltaické elektrárny je bezesporu nosná konstrukce panelů. Konstrukční systémy se dají rozdělit podle typu instalace:

- **Konstrukce pro sedlové střechy.** Vhodná pro malé instalace na rodinné domy se sedlovou střechou se sklonem přibližně 35° a orientací k jihu nebo jihozápadu. Nosným prvkem zde jsou hliníkové profily přichycené speciálními háky ke konstrukci střechy. K profilům jsou připevněny fotovoltaické panely. Tato konstrukce je snad vůbec nepoužívanější zejména pro její jednoduchost, snadnou montáž a nízkou cenu. [3]
- **Konstrukce pro ploché střechy.** Tyto konstrukce jsou většinou tvořeny ocelovými pozinkovanými profily trojúhelníkového tvaru, které jsou vzájemně „zavětrované“ a podélně spojené hliníkovým profilem pro uchycení fotovoltaických panelů. Konstrukce se ke střeše připevňuje buď napevno chemickými kotvami, nebo se zatíží betonovými bloky či dlaždicemi. Toto řešení je pracnější a nákladnější než konstrukce na sedlové střeše. [3]
- **Konstrukce pro volná prostranství.** Stejně řešení jako u plochých střech se používá u větších elektráren postavených na volných prostranstvích s tím rozdílem, že konstrukce se spojuje pevně se zemí a to buď závrtnými šrouby, pozinkovanými profily zatlačenými do země, nebo betonovými základy. Tyto konstrukce bývají komplikované a nákladné, protože musejí odolávat mnohem tvrdším povětrnostním podmínkám a vlivům, zejména pak silnému větru. [3]
- **Polohovatelné systémy.** Dalším možným, a co do výtěžnosti, nejlepším způsobem pro uchycení fotovoltaických panelů jsou polohovatelné systémy tzv. trackery. Tracker automaticky otáčí a naklání panely ke slunci dle jeho astronomické dráhy a umožňuje tedy maximální výtěžnost z fotovoltaického systému. Zkušenosti hovoří o 30 – 35 % nárůstu výtěžnosti oproti běžným pevným instalacím. Nevýhodou ovšem zůstávají zvýšené počáteční náklady, vlastní spotřeba elektrického proudu a nutná údržba. [3]

### **1.12.4 Fotovoltaické elektrárny a jejich ochrana před bleskem**

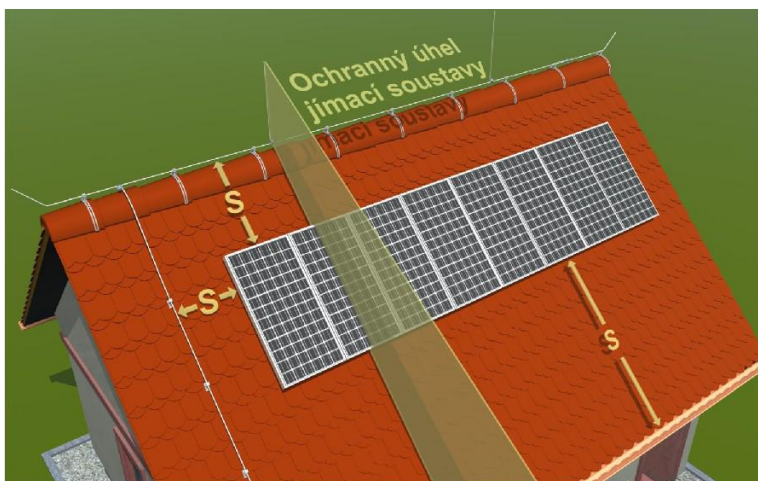
Z principu fotovoltaických elektráren vyplývá, že FV panely pro svou funkci a pro dosažení co největšího vyrobeného výkonu musí být instalovány v místě s co nejdelší dobou slunečního svitu. Těmito místy jsou fasády a střechy objektů nebo rozsáhlé plochy velkých elektráren o výměře několika stovek čtverečních metrů. Téměř vždy jde o místo, které je ohroženo přímým úderem blesku, nebo sběrná plocha pro určení pravděpodobnosti úderu blesku, zejména u velkých elektráren s výkonem řádově stovek kilowattů, je skutečně velká. Elektrárny jsou navíc postaveny v lokalitě, v jejímž nejbližším okolí není žádný vysoký objekt, který by snad mohl být náhodným jímáčem (výškové budovy, stromy apod.). Důvodem je skutečnost, že v časných ranních a pozdních odpoledních hodinách tyto objekty vytvářejí stín. Situace FV elektráren je z hlediska ochrany před bleskem skutečně nepříznivá, navíc jsou použité komponenty citlivé i na přepětí šířící se distribuční soustavou. Typická hodnota izolační pevnosti FV panelu je přibližně 1 kV a měniče 4 kV. Při ochraně před bleskem je třeba počítat i s tím, že výstupní stejnosměrné napětí z FV článků se pohybuje v rozmezí 200 až 600 V. [7]

Ochranu před bleskem je možné rozdělit na:

- malé FV elektrárny na střechách rodinných domů
  - střešní krytina z nevodivého materiálu
  - střešní krytina z vodivého materiálu
- velké FV elektrárny na plochých střechách
- velké FV elektrárny na nezastavěném pozemku

#### **1.12.4.1 Malé FV elektrárny na střechách rodinných domů**

V tomto případě je třeba především zkontrolovat prostorové řešení rozmístění panelů na střeše objektu, aby tyto panely, které jsou nejdražší položkou při výstavbě FVE byly dostatečně chráněny. Panely budou umístěny v dostatečné vzdálenosti  $s$  od jímací soustavy. Ochranný prostor jímací soustavy je možné ještě zvětšit jímači na hřebenáčích nebo využitím malých pomocných jímačů vytvořených z kousků drátu.



*Obr. 1.11- Umístění panelů na střeše [7]*

Když nelze dodržet dostatečnou vzdálenost mezi hromosvodem a panely je zapotřebí nosné rámy panelů pečlivě propojit s jímací soustavou na několika místech (obr. 1.12).



*Obr. 1.12 - Zapojení hromosvodu [7]*

#### **1.12.4.2 Velké FV elektrárny na plochých střechách**

Větší plochy FV panelů instalovaných na ploché střeše, ať již jde o správní budovu či výrobní podnik, s sebou nesou oproti jejich použití na rodinných domech několik nových faktorů významně ovlivňujících celý systém ochrany před bleskem. Prvním podstatným faktorem je daleko větší plocha samotné aplikace a s tím související nárůst její ceny. Naproti tomu se, ale nabízejí daleko jednoduší a prostorově ne tolik omezené možnosti pro vybudování oddálené jímací soustavy. Vzhledem k větší ploše střechy je možné použít velké množství standardních prvků, jako jsou jímací tyče, klasické betonové podstavce aj. Tím lze docílit podstatných finančních úspor. [7]

Pro ochranu celé FV elektrárny před bleskem je vhodné zvolit metodu oddálených hromosvodů. Při zakládání nosných hliníkových rámců je třeba dbát na to, aby byla mezi nimi a např. oplechováním atiky střechy dodržena dostatečná vzdálenost. Po obvodu střechy se vztyčí pomocné jímáče o takové výšce, aby blesková koule nepropadla a nedotkla se panelů (obr. 1.13). Podle zařazení celé aplikace do konkrétní třídy ochrany před bleskem je třeba doplnit mřížovou soustavu. Příčná propojení soustavy je opět nutné vést v dostatečné vzdálenosti s od nosných rámců a panelů. Na tuto vzdálenost je třeba dbát i při pokládání kabelových tras pro stejnosměrné vodiče. Jsou-li použité trasy z kovových žlabů, nesmí se spojit s hromosvodem, ale s ekvipotenciálním vyrovnáním. Na ně se připojí i nosné rámy FV panelů. Kabelová trasa se může křížit s oplechováním atiky, ale musíme si dát pozor na dodržení přeskokové vzdálenosti s. Pokud nemůžeme přeskokovou vzdálenost dodržet, musíme spojit nosné rámy s jímací soustavou na více místech. V tom případě je zapotřebí zajistit, aby úder blesku nesměřoval přímo do panelu. Toho lze docílit vztyčením pomocných jímáčů a jejich uchycením přímo na rám. Po instalaci a důkladné kontrole jímací soustavy (FV elektrárny se většinou budují na hotových objektech s hromosvodnou soustavou podle ČSN 34 1390) je možné přistoupit ke svodičům přepětí. Ve sdrůžovacích rozvaděčích na střeše se instalují svodiče přepětí. [7]



**Obr. 1.13 - Ochranný úhel jímací tyče [7]**

zvolené podle počtu sériově zapojených FV panelů. Svodiči přepětí musí být vybavena všechna vstupní stejnosměrná vedení. Ze strany připojení na distribuční soustavu lze vybírat z několika možností instalace svodičů přepětí. Je-li předávací místo vzdáleno jen několik metrů od měničů (měřeno vždy po vedení), stačí instalovat před elektroměr FV elektrárny nebo za něj kombinovaný svodič přepětí a bleskových proudů např. Typ 1 DEHNventil® M TN-C (nebo TNS – záleží na dané variantě). Je-li tato vzdálenost větší (řádově desítky metrů), je vhodné volit u elektroměru kombinaci svodičů např. DEHNbloc® Maxi 1 255 a přímo u měničů instalovat svodiče přepětí např. Typ 2 DEHNgard® S 275. [7]

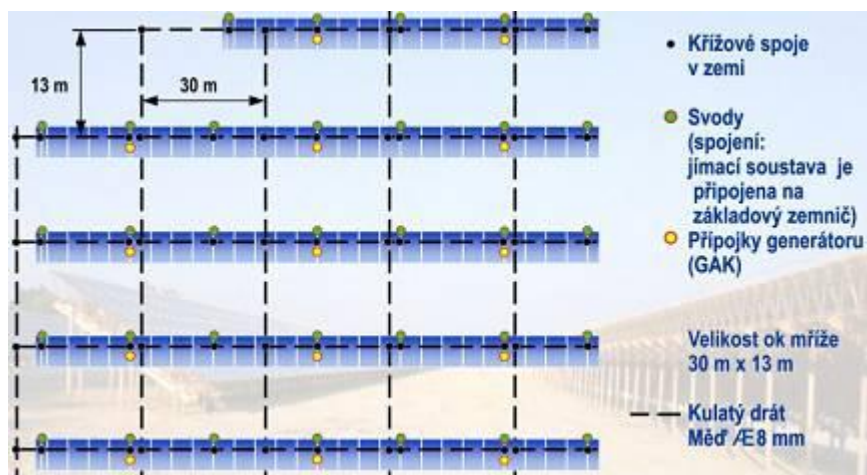
V případě, že FV panely jsou spojeny s jímací soustavou, je třeba instalovat na stranu stejnosměrného vedení svodiče bleskových proudů. Těmi mohou být unikátní svodiče DEHNlimit® PV 1000, které jsou prvními svodiči bleskových proudů na bázi jiskřiště pro systémy do 1 000 V DC. se schopností omezit následný proud až 100 A DC. Ochrana ze strany střídavého napětí je totožná s předchozí variantou. S ohledem na celkovou cenu aplikace záleží na investorovi, zda se spíše než pro takovouto kompromisní variantu (možnost poškození FV panelů při přímém úderu blesku přetrvává) nerozhodne pro instalaci oddáleného hromosvodu např. s využitím vodičů HVI. Takto řešená ochrana sníží riziko možného poškození na minimum. [7]

#### **1.12.4.3 Velké FVE na nezastavěném pozemku**

Další možnou variantou fotovoltaického zdroje je velká solární elektrárna. Tyto elektrárny jsou budovány na velmi rozsáhlých plochách ve svazích, navíc zpravidla na vyvýšených místech. U takovýchto elektráren jsou opět dvě možnosti ochrany: využití konstrukce fotovoltaických panelů jako náhodných jímáčů nebo varianta s oddálenou jímací soustavou. Jako první bude popsána varianta ochrany za pomoci oddálených jímáčů. V prvním kroku bude realizována mřížová zemnicí soustava. (obr. 1.14, obr. 1.15). Pásek nebo drát se uloží tak, aby bylo možné snadno připojit nosné konstrukce FV panelů (jsou-li kovové). Do prostoru mezi rámy se umístí jímací tyče, aby se panely nacházely v ochranném prostoru jímáčů. Pro návrh rozmístění jímáčů se použije metoda valivé bleskové koule podle



ČSN EN 62305-3 (Ochrana před bleskem – Část 3: Hmotné škody na stavbách a nebezpečí života). Měl by být vzat v úvahu i stín, který jímací tyč na panelu může vytvářet, ale vzhledem k difuzi světla a průměru jímací tyče 16 mm půjde o zanedbatelný problém (obr.1.16). Další možností zejména při nedostatku místa mezi panely je použití teleskopických stožárů s výškou až 22 m (Obr. 1.17). Velmi důležité je vést svody a jímací soustavu v dostatečné vzdálenosti s od chráněného zařízení. Rozmístění a instalace svodičů přepětí jsou stejné jako v předchozích případech. [7]

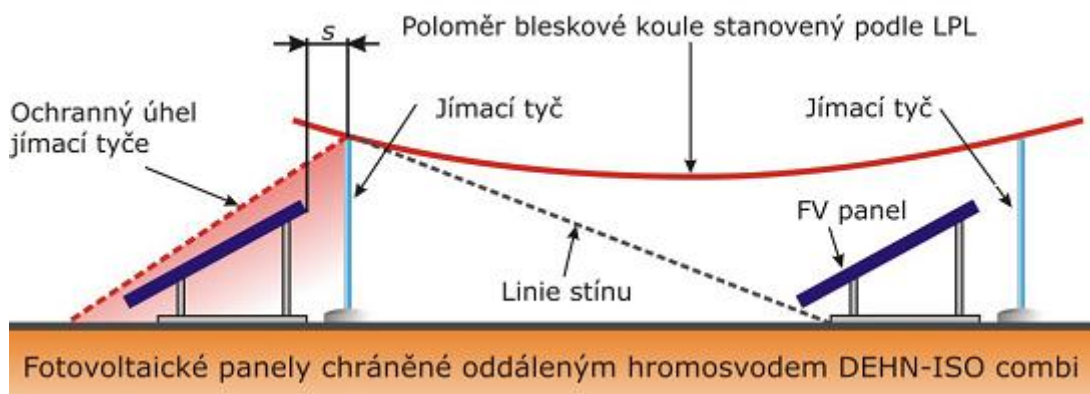


**Obr. 1.14 – Mřížová zemnicí soustava [7]**

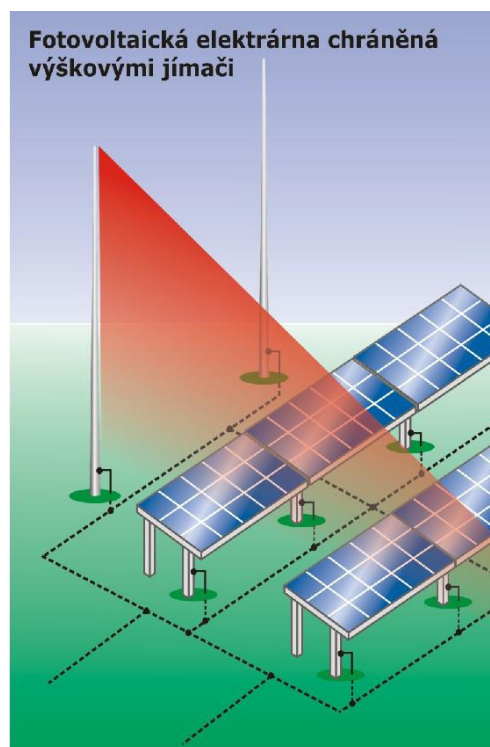


**Obr. 1.15 - Ukázka montáže [7]**





*Obr. 1.16 – FV panely chráněné oddáleným hromosvodem [7]*



*Obr. 1.17 – FVE chráněna výškovými jímači [7]*

### **1.13 Finanční nástroje podpory FVE v České republice**

Česká republika se zavázala splnit cíl 8 % hrubé výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů na tuzemské hrubé spotřebě elektřiny k roku 2010 a společně s tím vytvořit takové legislativní a tržní podmínky, aby zachovala důvěru investorů do technologií na bázi OZE. Tak je to definováno ve Směrnici 2001/77/ES, kterou ČR implementovala do svého právního řádu prostřednictvím Zákona č. 180/2005 Sb. Směrnice již ovšem nedefinuje konkrétní nástroje k dosažení tohoto cíle a ponechává jejich volbu na rozhodnutí členských států. [1]

Česká republika se rozhodla zavést mechanismus výkupních cen (tzv. feed-in tariff) v kombinaci se systémem „zelených bonusů“. Ze získaných zkušeností po celém světě dnes můžeme tvrdit, že z pohledu fotovoltaiky a jejího rozvoje se tento systém osvědčil asi nejlépe. Také proto dnes tento systém v Evropě

(a nejen tam) dominuje a mnohé další země jej zavádějí, popř. upravují (Francie, Řecko). Existují však i jiné způsoby podpory fotovoltaiky a trhu s těmito produkty, které často feed-in tariff doplňují. [1]

### **1.13.1 Mechanismus výkupních cen a zelených bonusů (feed-in tariff)**

#### **1.13.1.1 Princip výkupních cen**

Ze zákona č. 180/05 Sb. vyplývá povinnost pro provozovatele přenosové soustavy nebo distribuční soustavy připojit fotovoltaický systém do přenosové soustavy a veškerou vyrobenou elektřinu (na kterou se vztahuje podpora) vykoupit. Výkup probíhá za cenu určenou pro daný rok Energetickým regulačním úřadem (viz Cenové rozhodnutí č.8/2006) a tato cena bude vyplácena jako minimální (navyšuje se o index PPI) po dobu následujících patnáct let (investor je povinen podávat hlášení o naměřené výrobě v půlročních intervalech). [1]

#### **1.13.1.2 Princip zelených bonusů**

Investor si ovšem může vybrat i jiné schéma podpory - tzv. zelený bonus (zeleným bonusem se rozumí finanční částka navyšující tržní cenu elektřiny, která zohledňuje snížené poškození životního prostředí využitím obnovitelného zdroje). Tento systém je více ve shodě s liberalizovaným trhem. Výrobce si na trhu musí najít obchodníka, kterému elektřinu prodá za tržní cenu. Cena je nižší než u konvenční elektřiny, protože v sobě obsahuje nestabilitu výroby, a je různá pro různé typy OZE. V momentu prodeje získá výrobce od provozovatele distribuční soustavy tzv. zelený bonus neboli prémii. Regulační úřad stanoví výši premii tak, aby výrobce získal za jednotku prodané elektřiny o něco vyšší částku než v systému pevných výkupních cen. Příklad - takovýto systém je povinný pro investory, kteří budou vyrobenou elektřinu využívat pro vlastní spotřebu. [1]

### **1.13.2 Daňová úleva**

Z hlediska investice do fotovoltaiky je důležitý také zákon č. 586/1992 Sb., o daních z příjmů, který říká, že příjmy z provozu obnovitelných zdrojů energie jsou osvobozeny od daně ze zisku, a to v roce uvedení do provozu a následujících 5 let (§ 4 písmeno e). [1]

Osvobozeny od daně tedy jsou: „*příjmy z provozu malých vodních elektráren do výkonu 1 MW, větrných elektráren, tepelných čerpadel, solárních zařízení, zařízení na výrobu a energetické využití bioplynu a dřevoplynu, jiné způsoby výroby elektřiny nebo tepla z biomasy, zařízení na výrobu biologicky degradovatelných látek stanovených zvláštním předpisem, zařízení na využití geotermální energie (dále jen "zařízení"), a to v kalendářním roce, v němž byly poprvé uvedeny do provozu, a v bezprostředně následujících pěti letech. Za první uvedení do provozu se považuje i uvedení zařízení do zkušebního provozu, na základě něhož plynuly nebo plynou poplatníkovi příjmy, a dále případy, kdy malá vodní elektrárna do výkonu 1 MW byla rekonstruována, pokud příjmy z této malé vodní elektrárny do výkonu 1 MW nebyly již osvobozeny. Za první uvedení do provozu se považují i případy, kdy zařízení byla rekonstruována, pokud příjmy z provozu těchto zařízení nebyly již osvobozeny. Doba osvobození se nepřerušuje ani v případě odstávky v důsledku technického zhodnocení nebo oprav a udržování*“ [1]

### **1.13.3 Dotační tituly v ČR**

Státní energetická koncepce ČR předpokládá podporu využívání všech zdrojů energie, které lze dlouhodobě reprodukovat a jejichž používání přispěje k posilování nezávislosti státu na cizích zdrojích energie a k ochraně životního prostředí. Preferovat se budou všechny typy obnovitelných zdrojů – zdroje využívající sluneční energii, energii větru a vodních toků, geotermální energii i biomasu jako zdroje pro výrobu elektřiny a tepelné energie. [1]

Výjimkou není ani fotovoltaika a na investici do fotovoltaického zařízení lze získat finanční příspěvek (dotaci). A to jednak z prostředků státního rozpočtu v rámci národních programů a také v rámci Operačních programů (prostředky [www.strukturalni-fondy.cz](http://www.strukturalni-fondy.cz)). [1]

#### **1.13.3.1 Národní programy**

Státní program na podporu úspor energie a využití OZE pro rok 2010 – tento program je rozdělen na dvě části spadající pod MPO (část A) a MŽP (část B). Jedná se o program roční, s omezeným rozpočtem a na případnou dotaci není právní nárok. Nevýhodou je také ten fakt, že o dotaci může investor požádat až poté, co celou investici profinancuje a uvede systém do provozu. V roce 2010 lze získat dotaci na FV systém jen v programové části B administrované Státním fondem životního prostředí. Jsou podporovány systémy do 5 kWp a dotace může obdržet fyzická osoba. Podrobnosti lze nalézt na stránkách SFŽP. [1]

#### **1.13.3.2 Operační programy**

Operační programy jsou programové dokumenty Evropské unie, kterými jsou redistribuovány prostředky unijního rozpočtu zpět do rozpočtů členských států. Pro financování investic v oblasti fotovoltaiky jsou důležité zejména Operační programy OPPI (Operační program Podnikání a inovace) a OPŽP (Operační program Životní prostředí). V rámci OPPI (program Eko-energie) by měla podpora směřovat zejména podnikatelským subjektům, které by při investici do fotovoltaiky mohly získat až 30 % dotaci. MŽP respektive SFŽP by pak měl zastřešovat podporu v rámci priority č. 3 OP Životní prostředí, o výši subvence bude rozhodovat finanční a ekonomická analýza. Konkrétní podmínky programů v těchto dnech procházejí schvalovacím řízením, a jakmile budou známy, budou publikovány na stránkách [www.czrea.org](http://www.czrea.org). [1]

#### **1.13.4 Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny využitím slunečního záření**

V níže uvedené tabulce Tab. 1.1 jsou uvedeny aktuální výkupní ceny podle ERÚ.

**Tab. 1.1 - Aktuální výkupní ceny elektřiny podle ERÚ**

<b>Datum uvedení do provozu</b>	<b>Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh</b>	<b>Zelené bonusy v Kč/MWh</b>
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30kW včetně a uvedeným do provozu od 1.1.2010 do 31.12.2010	12 250	11 280
Výroba elektřiny využitím slunečního záření po 1. lednu 2009 s instalovaným výkonem nad 30kW včetně a uvedeným do provozu od 1.1.2010 do 31.12.2010	12 150	11 180
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedeným do provozu od 1.1.2009 do 31.12.2009	13 150	12 180
Výroba elektřiny využitím slunečního záření po 1.lednu 2009 s instalovaným výkonem nad 30 kW včetně a uvedeným do provozu od 1.1.2009 do 31.12.2009	13 049	12 079
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu od 1. ledna 2008 do 31. prosince 2008	14 010	13 040
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu od 1. ledna 2006 do 31. prosince 2007	14 370	13 400
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu před 1. lednem 2006	6 850	- 880

Zdroj: [www.eru.cz](http://www.eru.cz)

## **1.14 SW produkty pro návrh FVE**

V současné době existuje celá řada SW produktů pro návrh FVE. Volně disponibilní jsou například SW produkty **PVGIS** nebo **Sunny Desing**. PVGIS je fotovoltaický geografický informační systém vyvinutý vědeckou službou Evropské komise (Společným centrem pro výzkum). SW poskytuje uživatelům možnost odhadnout intenzitu slunečního záření na jakémkoli místě Evropy. Tento SW umí, také na základě zadané GPS pozice spolu s dalšími základními parametry vypočítat odhad celoroční výroby elektřiny.

SW produkt **Sunny Design** umožňuje projektování (konfiguraci) FV systémů všech výkonů nejjednodušším způsobem a to pouze ve třech níže uvedených krocích:

- definice FV generátoru - zadání místa instalace, typu modulu, nasměrování generátoru a FV výkonu nebo počtu modulů
- přednastavení typu střídače - zadávací průvodce pro výběr podle určitých vlastností nebo pro přímé přednastavení střídače
- vyhodnocení - automatické zkontrolování konfigurace, zjištění výkonových charakteristik provozního roku

Oba výše uvedené SW produkty jsem využil v praktické části své práce.

## **2. NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELKTRÁRNY**

### **2.1 Základní geografické informace**

Uvažovaná FVE by se měla nacházet na střeše skládky uhlí společnosti Dalkia česká republika, a.s, Region Střední Morava, Závod Teplárna Olomouc. Výrobna se nachází na ulici Tovární č.p. 44 v Olomouci. Situační schéma skládky uhlí v areálu je patrné z přílohy č. 1 – Zaměření budovy skládky na uhlí.

Skládka se nachází na níže uvedených GPS souřadnicích:

49°35'15.511"N

17°15'59.364"E

Podle sluneční mapy z kapitoly 1.10 Potenciál slunečního svitu a z aktuálních map v programu PVGIS lze odhadnout dopad slunečního záření na úrovni 1 028 až 1 055 kWh/m<sup>2</sup>.

Objekt skládky uhlí má **orientaci 10 ° k západu**.

Střecha skládky na uhlí má dvě části šikmé a jednu rovnou. Výkresová dokumentace skládky je uvedena v příloze č. 2.

**Šikmá část střechy** má sklon **50 °**. Tento úhel patří mezi průměrné naklonění a tudíž budou ztráty přijatelné. **Vodorovná část střechy** skládky bude využita pro instalaci panelů s úhlem sklonu **30 °**. Tento úhel je doporučován pro naši lokalitu.

V těsné blízkosti skládky se nachází 120 m vysoký komín, který během dne mezi ránem a polednem postupně zastíňuje plochu skládky. Problematika stínění střechy skládky komínem a problematika zapojení elektrárny byla opakovaně konzultována s odborníky společnosti Elektrocentrum Trading s.r.o. a společnosti GBC Montáže s.r.o. Z výše uvedených konzultací vyplynulo i nejvýhodnější zapojení panelů do čtvercových bloků.



*Obr. 2.1- Detail skládky na uhlí*



*Obr 2.2 - Detail skládky na uhlí*



## **2.2 Technologie uchycení FV panelů**

Pro rovnou část střechy se jeví jako nejvýhodnější použít standardně prodávané hliníkové konstrukce.



***Obr. 2.3 – Trojúhelníkové konstrukce pro FV panely***

Tyto hliníkové konstrukce budou na rovné střeše uspořádány do řad a budou uchyceny do nosníku budovy. Přesné rozmístění konstrukcí je zakresleno v příloze č.3.

Na šikmou část střechy použijeme střední hliníkový profil, který za pomoci trapézového držáku připojíme na nosnou konstrukci budovy. FV panely k těmto profilům připevníme pomocí příchytů.



***Obr. 2.4 – Přichycení panelům na šikmé střeše***

Po konzultaci se společností Statika Olomouc má stávající objekt dostatečnou únosnost pro zatížení od nově uvažované FVE. Váha této FVE činí cca 29 912 kg.



## **2.3 Odhad výkonu elektrárny a roční výroby elektrické energie**

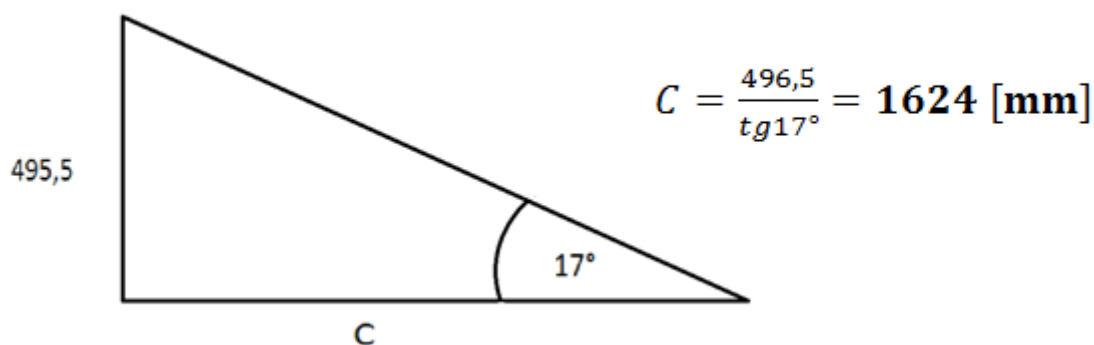
Po opakovaných konzultacích se společnostmi Elektrocentrum Trading s.r.o. a GBC Montáže s.r.o. jsem se pro uvažovanou FVE rozhodl požit panely Schott Poly 217 od společnosti Schott Solar. Technické parametry těchto panelů viz. příloha č. 4. Z hlediska konstrukce se jedná o fotovoltaický modul s texturovanými polykrystalickými křemíkovými články. Z důvodu rozdílného úhlu panelů na rovné a šikmé části střechy bylo nutné řešení realizovat jako soustavu dvou FVE. První FVE bude umístěna na rovné části střechy a druhá FVE bude umístěna na šikmé části střechy.

Z hlediska normalizace jsem u obou elektráren navrhl použít stejných panelů a střídačů.

### **2.3.1 FVE na rovné části střechy**

Pro návrh rozmístění panelů bylo nezbytné vypočítat mezery mezi řadami panelů a to tak, aby byla zaplněna celá plocha střechy panely.

Mezeru mezi těmito řadami vypočítáme z výšky trojúhelníkové konstrukce 496,5 mm a úhlu, pod kterým dopadají sluneční paprsky na zemi. Tento úhel je 17 °.



***Obr. 2.5 - Výpočet mezer řad panelů***

Dispoziční umístění panelů je uvedeno v příloze č. 3 a v příloze č. 5.

Následně byly do programu **Sunny Design** zadány níže uvedené vstupy:

- geografické informace – viz. kap. 2.1
- počet a typ panelů
- typ střídače

V prvním návrhu řešení FVE byla dostupná plocha (viz. příloha č. 6) pro FVE zaplněna co největším počtem panelů. Tento návrh obsahoval 322 panelů. Tento návrh bylo nutné s ohledem na limitní omezení střídači modifikován na 306 panelů Schott Poly 217. Pro navržených 306 panelů je navrženo 6 střídačů

Sunny Mini Central 11000TL. Na každý z těchto střídačů připojíme 3 paralelní větve, každá z těchto větví bude obsahovat 17 panelů Schott Poly 217 zapojených do série. Výstupní strana střídače je na úrovni 230 V a 50 Hz.



*Obr. 2.6 - Detail použitého střídače*

Pro výše uvedené parametry elektrárny je možné odhadnout níže uvedený výkon.

$$P_{RS} = N \cdot P_{pan} = 306 \cdot 217 = 66402 \text{ Wp}$$

S využitím SW produktu PVGIS bylo možné vypočítat roční teoretickou výrobu elektrické energie. Odhad této výroby je uveden v tab. 2.1

**Tab. 2.1 - Vyrobená elektřina FVE**

Měsíc	Výroba za měsíc [kWh]	Výroba za den [kWh]
Leden	2 042	66
Únor	3 151	113
Březen	5 197	168
Duben	6 693	223
Květen	8 232	266
Červen	7 751	258
Červenec	8 508	274
Srpen	7 651	247
Září	5 516	184
Říjen	4 633	149
Listopad	2 070	69
Prosinec	1 447	47
Roční průměr	5 241	172
<b>Celková roční výroba elektrické energie [kWh/rok]</b>	<b>62 891</b>	

*Zdroj – výpočet výroby elektrické energie programem PVGIS*

Lze odhadnout, že rovná část střechy by mohla ročně vyrobiť **62 891 kWh** elektrické energie.

### 2.3.2 FVE na šikmé části střechy

Pro návrh rozmístění panelů a stanovení jejich počtu byl použit stejný postup jako v kap. 2.3.1. Při řešení této části elektrárny byly identifikovány stejné problémy jako v případě rovné části střechy. Prvotní návrh obsahoval 896 panelů. Tento návrh byl následně modifikován na 561 panelů Schott Poly 217. Těchto 561 panelů bude doplněno 11 střídači Sunny Mini Central 11000TL. Na každý z těchto střídačů budou připojeny 3 paralelní větve. Každá z těchto větví bude obsahovat 17 panelů Schott Poly 217 zapojených do série.

Pro výše uvedené parametry elektrárny je možné odhadnout níže uvedený výkon.

$$P_{RS} = N \cdot P_{pan} = 561 \cdot 217 = 121737 \text{ Wp}$$

S využitím SW produktu PVGIS bylo možné vypočítat roční teoretickou výrobu elektrické energie. Odhad této výroby je uveden v tab. 2.2.

**Tab. 2.2** – Vyrobená elektřina FVE

Měsíc	Výroba za měsíc (kWh)	Výroba za den (kWh)
Leden	4 211	136
Únor	6 167	224
Březen	9 723	314
Duben	11 826	394
Květen	13 877	448
Červen	12 779	426
Červenec	14 175	457
Srpen	13 278	428
Září	10 134	338
Říjen	9 159	295
Listopad	4 178	139
Prosinec	2 962	96
Roční průměr	9 372	308
<b>Celková roční výroba elektrické energie [kWh/rok]</b>	<b>112469</b>	

***Zdroj** – výpočet výroby elektrické energie programem PVGIS*

Můžeme odhadnout, že tato šikmá část střechy vyrobí přibližně za rok **112 469 kWh** elektrické energie.

### 2.3.3 Odhad roční výroby elektrické energie

$$E_{cel} = E_{RS} + E_{SS} = 62891 + 112469 = 178871 [\text{kWh/rok}]$$

Na základě výpočtů uvedených v kapitolách 2.3.1 a 2.3.2 vyplývá, že elektrárna by mohla produkovat 178 871 kWh elektrické energie ročně.

### 2.3.4 Vyvedení výkonu elektrárny

Po konzultacích s vedoucím střediska elektro a MaR Teplárny Olomouc bylo určeno místo pro vyvedení výkonu FVE elektrárny a to rozvodna R0,4 k V-1/ R6. Tato rozvodna je vzdálena cca 150 m od objektu skládky. Trasa vedení bude vedena ve stávajících kabelových žlabech.

$$P = P_{RS} + P_{SS} = 66402 + 121737 = 188139 [Wp]$$

$$P = 3 \cdot U \cdot I_c \Rightarrow I_c = \frac{P}{3 \cdot U} = \frac{188139}{3 \cdot 230} = 271,8 [A]$$

$$I_j = I_c \cdot \operatorname{tg} \varphi = 271,8 \cdot 0,328 = 89,3 [A]$$

Zanedbal jsem reaktanci vedení a také úbytek napětí způsobený jalovým proudem.

$$S = \frac{2 \cdot \rho}{\Delta U} \sum (l \cdot I_c) = \frac{2}{57 \cdot \left( \frac{4}{100} \cdot 230 \right)} \cdot (150 \cdot 271,8) = 155,49 \Rightarrow S_{\check{S}N} = 185 [mm^2]$$

Pro vyvedení výkonu bude použit kabel CYKY-J 3x185+95 mm<sup>2</sup>.

### 2.4 Tržby za elektrickou energií

Skutečnou odhadovanou hodnotu vyrobené energie za rok ( $E_{SKU}$ ) spočítáme tak že od odhadované hodnoty vyrobené energie za rok odečteme ztráty. Celkové ztráty na FVE jsou součtem ztrát elektrických, které v našem případě činní 8 %, a ztrátami způsobenými zastíněním komínem (jsou odhadnuty na 10 %). Tyto ztráty byly prodiskutovány a odsouhlaseny firmami, které dodávají FVE na klíč.

$$E_{SKU} = E_{CEL} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{\Delta E}{100} \right) \right] = 178871 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{18}{100} \right) \right] = 178871 \cdot 0,82 = 146674,22 [kWh / rok]$$

$$Tržby = E_{SKU} \cdot C = 146674,22 \cdot 11,18 = 1639818 [Kč]$$

Při roční výrobě elektrické energie na úrovni 188 139 Wp a ceně elektrické energie (C) 11,18 Kč za kWh budou roční tržby dosahovat **1 639 818 Kč**.

## **2.5 Odhad investičních nákladů**

### **2.5.1 Materiální náklady**

V tabulce 2.3 je uveden soupis potřebného materiálu pro výstavbu FVE.

*Tab. 2.3 – Soupis materiálu*

Název	Počet ks/m	Cena ks/m [Kč]	Cena celkem za položku [Kč]
Kabel CYKY-J 3x185+95 mm	150	1 295	194 250
Elektroměr DVH 3113 3 fázový, 1 saz.	2	5 250	5 250
Panel Solar poly 217	957	13 461	12 882 177
Střídač SMC11000TL	17	93 600	1 591 200
Svodič přepětí DC FLP 1000PHV3B+C	51	7947	405 297
Svodič přepětí AC 1+1 C	17	355	6 035
Montážní příslušenství			145 000
<b>Celkem</b>		<b>15 234 459</b>	

Zdroj: Ceník společnosti Elektrocentrum Trading s.r.o.

Z výše uvedené kalkulace vyplývá, že materiálová náročnost díla činí cca **15 234 459 Kč bez DPH**.

### **2.5.2 Montážní práce**

Podle sdělení firem Elektrocentrum Trading s.r.o. a GBC Montáže s.r.o. se montážní práce účtují podle indexu Kč/kWp. Nejčastěji se používá kalkulační cena 1 000 Kč/kWp. Pro totu cenu představují montážní práce částku 188 000 Kč

### **2.5.3 Ostatní náklady**

Pro celkovou kalkulaci je ještě potřeba zohlednit další náklady

- dokumentace pro stavební povolení 50 000 Kč
- statický projekt 150 000 Kč
- ostatní nespecifikované položky 150 000 Kč

#### **2.5.4 Celková cena projektu**

Celkovou cenu projektu dle kapitol 2.5.1 ÷ 2.5.3 lze odhadnout na **15 772 459 Kč**.

#### **2.6 Ovládání FVE**

Ovládání VFE je zajištěno pomocí komponentů v moderních střídačích. Vizualizace parametrů elektrárny bude zaústěna do řídicího systému teplárny na volná místa I/O karet.

#### **2.7 Požadavky na údržbu**

FVE patří mezi bezúdržbové zařízení. Jelikož životnost komponentů FVE by měla být delší než 10 let, což je doba stanovená zadavatelem pro výpočet návratnosti. Navíc FV panel Schott Poly 217 má záruku 5 let a střídač Sunny Mini Central 11000TL má základní záruku 5 let. Tuto záruku je možné rozšířit i na 10 let.

Podle společnosti **Solartec s.r.o.**, která se dlouhodobě zabývá výstavbou a provozováním solárních elektráren průměrný rozdíl mezi čištěným a nečištěným FV panelem byl pro všechny instalace na úrovni 1,4 %. Přes tento poznatek se v průmyslových lokalitách se zvýšeným obsahem smogu doporučuje uživatelům FV systémů zvážit možnost ošetření povrchů panelů antiadhézní vrstvou (cena cca 1,3 Kč/Wp). S tímto ošetřením není v tomto projektu uvažováno. Ve výpočtu návratnosti je však uvažováno s průměrnými ročními náklady na údržbu ve výši 20 000 Kč. Tato částka by měla dostatečně pokrýt potřeby revizních činností a potřeby korektivní údržby.

### **3. EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ PROJEKTU**

Pro ekonomické vyhodnocení projektu byl použit běžný SW nástroj používaný ve společnosti Dalkia Česká republika. Výstupy jednotlivých výpočtů jsou uvedeny v příloze č. 7 této zprávy. Údaje vstupující do výpočtu ekonomických kritérií dle požadavků zadavatele bakalářské práce jsou uvedeny v kap. 3.1.

Pro vyhodnocení projektu byly použity níže uvedené kritéria:

- **doba návratnosti**
- **vnitřní výnosové procento IRR**
- **čistá současná hodnota NPV**

#### **3.1 Vstupní hodnoty pro výpočet ekonomických kritérií projektu**

- doba hodnocená projektu – 10 let
- sazba daně z příjmu 24 % - s daňovými úlevami není uvažováno
- doba odepisování – 10 let
- diskontní sazba 6,2 %
- cena elektrické energie 11,18 Kč/kWh
- množství vyrobené elektrické energie za rok 146 674,22 kWh/rok
- roční náklady na korektivní údržbu a čištění panelů – 20 000 Kč

#### **3.2 Výpočet ekonomických kritérií projektu**

Pokud zadáme výše uvedené kritéria do SW pro výpočet návratnosti projektů, obdržíme níže uvedené výsledky:

- **doba návratnosti 15,6 let**
- **vnitřní výnosové procento IRR 0,5 %**
- **čistá současná hodnota NPV – 3 116 306,5 Kč**

Z vypočtených kritérií vyplývá, že takto koncipovaný projekt je pro investora za výše uvedených podmínek nenávratný.

### **3.2 Citlivostní analýza projektu**

Pokud se na problematiku projektu podíváme ještě trošku z jiného pohledu. Pokud by se investorovi podařilo zajistit si (získat) 40 % dotaci ze strukturálních fondů EU, pak by projekt generoval níže uvedené kritéria návratnosti:

- **doba návratnosti 7,9 let**
- **vnitřní výnosové procento IRR 11,2 %**
- **čistá současná hodnota NPV 1 720 408,1 Kč**

Za těchto podmínek by projekt mohl být pro investora již celkem zajímavý, i když základní podmínkou akcionáře je realizace projektů, u kterých vnitřní výnosové procento je vyšší než 15 %.

V tab. 3.1 jsou zobrazeny výsledky citlivostní analýzy na změnu vyrobené elektřiny při 40 % dotaci.

**Tab. 3.1** – *Výsledky citlivostní analýzy*

Kritérium	-10 %	- 5 %	0 %	+ 5 %
Doba návratnosti	8,9 let	8,4 let	7,9 let	7,5 let
Čistá současná hodnota	811 77,75	1 266 093,07	1 720 408,1	2 174 723,167
Vnitřní výnosové procento	8,6 %	9,9 %	11,2 %	12,5 %

Zdroj: Výpočty návratností investice



## **4. ZÁVĚR**

Práce byla rozdělena na dvě části a to na teoretickou část, která byla zpracována formou rešerší a je uvedena v kapitole 1 a dále na návrh a ekonomické vyhodnocení konkrétní instalace FVE. Tento návrh a ekonomické posouzení FVE je uveden v kapitolách 2 a 3.

Z realizované studie proveditelnosti (prefeasibility study) vyplývá, že projekt instalace FVE na střechu kryté uhlé skládky Teplárny Olomouc má pro investora (zadavatele bakalářské práce) ekonomický smysl pouze v případě, že by se podařilo získat 40 % dotaci na výstavbu této elektrárny. V opačném případě tento projekt negeneruje kladnou čistou současnou hodnotu. V případě získání 40 % dotace začíná být sice projekt ekonomický návratný v dané časové periodě, avšak nesplňuje požadavky akcionářů na výnosnost projektu.

Citlivostní analýza prokázala, že změna množství vyrobené elektrické energie v intervalu od – 10 % do + 5 % významně ovlivňuje kritéria ekonomické návratnosti investic.

Je pravděpodobné, že další technický vývoj solárních panelů přinese další zlevnění těchto systémů a tudíž že projekt, za podmínek pokud zůstanou nástroje pro podporu výroby elektrické energie na současné úrovni, začne být pro investora více zajímavý.

Domnívám se, že definovaných cílů v úvodu práce, bylo dosaženo.

## **5. POUŽITÁ LITERATURA**

- [1] *Czech RE Agency* [online]. 2009 [cit. 2010-01-15]. Fotovoltaika pro každého. Dostupné z WWW: < <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika> >.
- [2] Ing. Jaroslav Peterka CSc. *TZB-info* [online]. 20.4.2004 [cit. 2009-11-22]. Solární historie v ČR a SR. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1940&h=13&pl=49>>.
- [3] *sofenenergy* [online]. 2009 [cit. 2009-12-13]. Fotovoltaická-elektrarna. Dostupné z WWW: <[www.czrea.org](http://www.czrea.org)>.
- [4] HNILICA, Pavel. *Menice-napeti* [online]. 2010 [cit. 2010-02-22]. Menice-napeti-ochrany. Dostupné z WWW: <<http://www.menice-napeti.cz/menice-napeti-ochrany.html>>.
- [5] Ing. Karel MURTINGER; Ing. Jiří BERANOVSKÝ PH.D; Ing. Milan TOMEŠ CSC. *Fotovoltaika: Elektřina ze slunce*. Vyd. 1. Praha : ERA group spol. s.r.o., 2007. 92 s.
- [6] BENDA, Vítězslav. Fotovoltaické systémy. *Studijní materiály*. 2008, 1, s. 62
- [7] HÁJEK, Jan; ŠALANSKÝ, Dalibor. *První elektronická knížka o ochraně před bleskem* [online]. Praha : FCC Public, 2008 [cit. 2010-04-22]. Dostupné z WWW: <[www.knizka.eu](http://www.knizka.eu)>.
- [8] *Etb-solar* [online]. 2009 [cit. 2010-04-10]. Fotovoltaika. Dostupné z WWW: <<http://www.etb-solar.cz/fotovoltaika.php>>.
- [9] VANĚČEK, M. *Fyzikální ústav Akademie věd ČR* [online]. 2002 [cit. 2009-12-10]. Přeměna sluneční energie v energii elektrickou. Dostupné z WWW: <<http://www.fzu.cz/popularizace/premena-slunecni-energie-v-energii-elektrickou>>.

## **6. PŘÍLOHY**

<b>Číslo přílohy</b>	<b>Jméno přílohy</b>
1	Zaměření budovy skládky na uhlí
2	Příčný řez střechou skládky na uhlí
3	Rozmístění FV panelů na ploché střeše skládky na uhlí
4	Informace panel Schott Poly 217
5	Konečné rozmístění panelům střeše skládky na uhlí
6	Plocha pro FVE na střeše skládky na uhlí
7	Výpočty kritérií návratnosti